

Alexi Pakkanen

TAAJAMA-ALUEEN SÄHKÖNJAKELUN MODERNISOINTI

Opinnäytetyö
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Maaliskuu 2011




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä	
Tekijä(t) Aleksi Pakkanen		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkötekniikan koulutusohjelma Sähkövoimatekniikka	
Nimeke Taajama-alueen sähkönjakelun modernisointi			
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on modernisoida Mikkelin Rantakylässä olevan asuinalueen sähkönjakelu. Nykyisin aluetta syöttää kaksi pylväsmuuntamo, jotka korvataan uudella puistomuuntamolla. Muutoksen seurauksena alueelle saadaan korvattua keskijänniteverkon ilmajohdot maakaapeleilla. Modernisoinnilla saadaan aikaan paremmin säätä ja tulevaisuudessa kulutuksen kasvua kestävä sähkönjakeluverkko.</p> <p>Työssä tarkastellaan yleisesti pien- ja keskijänniteverkon rakennetta. Lähemmin tarkastellaan muuntajan, sulakkeiden ja johtojen ominaisuuksia. Toimeksiantajalle työssä laadittiin ohjeistus asioista, joita tulisi ottaa huomioon ilmajohdonpurkutyössä.</p> <p>Tuloksena työstä saatiin parannettua Rantakylän taajama-alueen sähkönjakelun laatua ja asentajien työturvallisuutta purkutyövaiheessa.</p>			
Asiasanat (avainsanat) Puistomuuntamo, muuntaja, keskijänniteverkko, pienjänniteverkko			
Sivumäärä 36+7	Kieli Suomi	URN	
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Arto Kohvakka		Opinnäytetyön toimeksiantaja Empower Oy	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis	
Author(s) Aleksi Pakkanen		Degree programme and option Electrical engineering Electrical power engineering	
Name of the bachelor's thesis Modernisation of the electrical distribution in built-up area.			
Abstract <p>The purpose of this thesis is to modernise electrical distribution located in Mikkeli's Rantakylä. In current situation the power is supplied by two pole-mounted distribution transformers, which are replaced with park outdoor transformer substations. After the change mid voltage electrical aerial conduits can be replaced by cables. By making the modernization electricity distribution network will be able to withstand weather and future growing consumption.</p> <p>This thesis examines generally structure of the low- and medium voltage network. Thesis takes closer look at features of the transformers, fuses and cables. In my bachelor's thesis I made a instruction to electricians how to take apart aerial conduits safely.</p> <p>The suggestions made in this thesis contribute to the improvement of the electrical distribution in Rantakylä's built-up area and work safety for electricians.</p>			
Subject headings, (keywords) Park outdoor transformer substations, transformer, mid voltage network, low voltage network			
Pages 36+7	Language Finnish	URN	
Remarks, notes on appendices			
Tutor Arto Kohvakka		Bachelor's thesis assigned by Empower Ltd.	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	EMPOWER.....	1
3	MUUTOSKOHDE.....	2
4	JAKELUJÄRJESTELMÄ.....	3
4.1	Keskijänniteverkko	3
4.2	Pienjänniteverkko	4
4.2.1	Pienjänniteverkon suojaus ja maadoitus	5
5	VOIMANSIIRTOJÄRJESTELMÄN VIKATAPAUKSET	6
5.1	Oikosulku.....	6
5.2	Maasulku.....	7
6	JAKELUMUUNTAJA.....	7
6.1	Yksivaihemuuntaja	7
6.2	Tyhjäkäyvä häviötön muuntaja.....	8
6.3	Häviötön yksivaihemuuntaja kuormitettuna.....	9
6.4	Todellinen yksivaihemuuntaja.....	10
6.5	Kolmivaihemuuntaja.....	10
6.6	Muuntajan kytkennät	12
6.7	Rakenne	13
6.7.1	Öljyeristeiset muuntajat	14
6.7.2	Kuivamuuntajat.....	16
7	PUISTOMUUNTAMO.....	17
7.1	Kohteeseen valittu puistomuuntamo.....	17
7.2	Kohteeseen valittu muuntaja.....	17
8	YLEISTÄ MAADOITTAMISESTA.....	19
8.1	Maadoituksen tarkoitus.....	19
8.2	Maadoituksen rakenne	20
8.3	Suur- ja pienjännitejärjestelmän yhteinen maadoitus	21
8.4	Maadoitusresistanssi	21
8.5	Puistomuuntamon maadoituselektrodi.....	23
9	KAPELOINTI	26

9.1	Kaapeloinnin hyödyt ja haitat	26
9.2	Valitut kaapelit.....	27
9.3	Kaapelipäätteet ja niiden maadoittaminen.....	27
9.4	Kaapelointimenetelmät	28
10	VAROKKEET JA SELEKTIIVISYYS.....	29
11	KÄYTTÖÖNOTTO	30
12	PURKUTYÖ	31
12.1	Purkutyön aloitus	31
12.2	Purkutyön turvallisuus	31
12.3	Purkutyömenetelmät	32
13	POHDINTA	34
	LÄHTEET	35
LIITTEET		
1	Puistomuuntamon pohjarakenne	
2	Puistomuuntamon käyttöönottotarkastuspöytäkirja	
3	PJ- kaapelin käyttöönottotarkastuspöytäkirja	
4	KJ- kaapelin käyttöönottotarkastuspöytäkirja	
5	Jännitetyöpöytäkirja	

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee puistomuuntamon rakentamista ja sen rakentamisvaiheissa huomioon otettavia seikkoja. Työssä käsitellään keski- ja pienjänniteverkon rakennetta ja sitä, kuinka uuden puistomuuntamon rakentaminen vaikuttaa jakeluverkon laatuun. Puistomuuntamoita rakennetaan taajama-alueille, jossa niille on riittävästi tilaa. Puistomuuntamolla saadaan rakennettua kesijännitesyöttö taajamiin maakaapelilla, jolloin pystytään parantamaan sähkönjakelun varmuutta. Puistomuuntamon rakentamisessa huomioon on otettava sen alttius ulkopuolisille ihmisille ja siten turvallisuuden varmistaminen. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on modernisoida Mikkelin Rantakylässä olevan asuinalueen sähkönjakelu. Nykyisin aluetta syöttää kaksi pylväsmuuntamo, jotka korvataan uudella puistomuuntamolla. Muutoksen seurauksena alueelle saadaan korvattua keski-jänniteverkon ilmajohdot maakaapeleilla. Modernisoinnilla saadaan aikaan paremmin säätä ja tulevaisuudessa kulutuksen kasvua kestävä sähkönjakeluverkko.

Opinnäytetyössä on lisäksi laadittu ohjeistus ilmajohtojen ja vanhojen pylväsmuuntamoiden purkutyölle. Aikaisemmin puistomuuntamoita rakennettaessa pääpaino on ollut itse rakentamisvaiheen turvallisuudessa ja säännöksissä. Työssä kerrotaan ja ohjeistetaan, kuinka saadaan jälkityöt hoidettua turvallisesti. Ohjeen tarkoituksena on palvella työn toimeksiantajalle yleisenä purkutyöohjeistuksena. Työn toimeksiantajana on asennuspäällikkö Mikko Romo Empower Oy:sta. Ohjeen avulla voidaan opastaa purkutyötä tekevät henkilöt turvallisempaan työskentelyyn, ja kertoa mahdollista riskeistä.

2 EMPOWER

Empower tunnetaan monikansallisena palveluyrityksenä, joka tarjoaa rakentamis-, ylläpito- ja asiantuntijapalveluita energia-, tietoliikenne- ja teollisuussektorilla. Empower toimii Suomen lisäksi Ruotsissa, Virossa, Latviassa ja Liettuassa. (Yleistä.)

Yrityksen toiminta on organisoitu kolmeen eri toimialaan. Sähköverkon-toimialan tehtävänä on sähköverkkojen suunnittelu, rakentaminen ja ylläpitäminen. Tietoliikenne-toimiala vastaavasti suunnittelee, rakentaa ja pitää kunnossa tietoliikenneverkkoja.

Teollisuus-toimialan palvelut ovat teollisuuden ja voimalaitosten käyttö- ja kunnossapitopalvelut, sekä tiedonhallintaan liittyvät palvelut. (Yleistä.)

1988 perustettu Teollisuuden Voimansiirto Oy, oli Etelä-Pohjanmaan Voiman, Pohjolan Voiman, Nokia Voiman ja Etelä-Suomen Voiman omistama sähkön siirtoon, myyntiin ja hankintaan erikoistunut yritys. Teollisuuden Voimansiirto Oy:n toimenkuvaan kuului myös siirtoverkon rakentaminen ja kunnossapito. Vuonna 1997 Teollisuuden Voimansiirto fuusioitiin osaksi Pohjolan Voimaa. Nykyisin tunnettu Empower syntyi 1998, jolloin Pohjolan Voima eriytti konsernin palvelutoiminnat omaksi alakonsernikseen, PVO- Palvelut Oy:ksi. Vuonna 1999 uuden yhtiön nimeksi tuli Empower Oy. (Yleistä.)

Empowerin kansainvälistyminen alkoi vuonna 2000, jolloin yhtiö hankki osakeenemmistön virolaisesta verkonrakennusyrityksestä, Eesti Elektrivõrkude Ehituksesta. Vuonna 2002 Eesti Elektrivõrkude Ehituksesta tuli Empower Oy: n 100- prosenttisesti omistama tytäryhtiö Empower EEE AS. (Yleistä.)

Vuonna 2001 Vattenfall Oy:n myydessä liiketoimintoja Empowerille, tuli Vattenfall Oy:stä Empowerin osakas. Samalla Empowerin tytäryhtiöksi tuli Suomen Voimatekniikka Oy. Konsernin johto sekä pääomasijoittajat 3i Group ja Nordea Capital ostivat Empowerin osakekannan Pohjolan Voimalta ja Vattenfallilta vuonna 2003. Empowerin omistus muuttui seuraavaksi vuonna 2008, jolloin sen omistajiksi tulivat AAC Capital Partners ja Empowerin johto. Nykyisin Empowerilla työskentelee noin 3000 työntekijää ja yrityksen liikevaihto on noin 319 miljoona euroa. (Yleistä.)

3 MUUTOSKOHDE

Muutoskohde sijaitsee Mikkelin Rantakylässä, jossa taajama-alueen asuinrakennuksia syötetään kahdella eri muuntopiirillä. Muutoskohteessa muuntopiirit Jokipolku ja Alapeltola nykyaikaistetaan. Muuntopiirejä syöttää kaksi pylväsmuuntamoaa, jotka ovat kooltaan 315kVa. Jokipolun muuntopiiri on otettu käyttöön vuonna 1984 ja Alapellon muuntopiiri vuonna 1971.

Uuden asennuksen tarkoituksena on modernisoida muuntopiiriä ja parantaa sähkön laatua. Samalla voidaan varautua tulevaisuuteen ja ottaa huomioon alueen mahdollinen sähkönkulutuksen kasvu. Vanhat pylväsmuuntamot korvataan yhdellä puistomuuntamolla. Puistomuuntamoon tulee 500kVa muuntaja. Muutoksen avulla voidaan poistaa muuntopiirissä olevat 20kV ilmajohdot ja korvata ne maakaapeleilla. Maakaapeleilla saadaan sähkönlaatua parannettua ja samalla päästään eroon ilmastollisista syistä johtuvista sähkökatkoksista. Muuntopiirin alueella sijaitsevat rakennukset ovat omakotitaloja. Omakotitaloille tulevat AMKA- ilmajohdot jäävät muutoskohteessa käyttöön. Muutoksen jälkeen uusi puistomuuntamo saa syöttönsä 20kV maakaapelilla, joka muutetaan muuntajassa 400V:ksi. Pienjännite siirretään muuntamosta pienjännitekaapelilla, vanhoihin jo olemassa oleviin AMKA- ilmajohtoihin, jota kautta asuinrakennukset saavat sähköistyksen.

4 JAKELUJÄRJESTELMÄ

Sähkönjakelujärjestelmän tehtävänä on siirtää voimalaitosten tuottama sähköenergia sähkön loppukäyttäjille. Sähkönjakelujärjestelmä koostuu eri jänniteportaista ja komponenteista. Kantaverkoksi luetaan yli 110kV johdot ja kantaverkonsähköasemat aina 400kV asti. Alueverkoiksi kutsutaan 110kV ja 45 kV johdot sähköasemineen. Jakeluverkot rakennetaan Suomessa yleisesti joko 20kV tai 10kV jännitteellä. Jakeluverkot pitävät sisällään asiakkaille saakka ulottuvan 0,4kV pienjänniteverkon jakelumuuntajineen. Sähkönjakelujärjestelmä rakennetaan tavallisesti sähköasemalta asiakkaan liityntäpisteeseen kaksiportaisena 20/0,4 kV järjestelmänä. Keski- ja pienjänniteverkkoista ja niiden rajapisteestä sijaitsevasta jakelumuuntajasta muodostuu kaksiportainen jakelujärjestelmä. (Lakervi & Partanen 2009, 11.)

4.1 Keskijänniteverkko

Keskijänniteverkon jännitetaso on tyypillisesti 20kV. Kaupungeissa voidaan myös käyttää 10kV keskijänniteverkkoa. Keskijänniteverkko voidaan rakentaa joko maasta erotetuksi tai sammutetuksi verkoksi sammutuskuristimen kautta. Keskijänniteverkko alkaa syöttävältä sähköasemalta, jossa keskijännitejohdon suojana on katkaisija ja siihen liitetyt ylivirta-, maasulku- ja jälleenkytkentäreleet. Asiakkaiden kokemista keskeytyksistä 90 % johtuu keskijänniteverkon vioista, joten keskijänniteverkon ra-

kenteella ja sijainnilla on erittäin merkittävä vaikutus sähkönkäyttäjien kokemaan sähkönjakelun käyttövarmuuteen. (Lakervi & Partanen 2009, 125.)

Keskijänniteverkko rakennetaan yleensä taajamassa ja kaupunkialueella silmukoiduksi. Silmukoidussa verkossa saadaan maakaapeliverkossa kullekin jakelumuuntamolle kaksi keskijännitesyöttöä. Hyötynä silmukoidussa verkossa on sen käyttövarmuus, sillä yhden johdon vikaantuminen ei aiheuta sähkökatkosta. Vaikka verkko rakennetaan silmukan muotoiseksi, käytetään renkaita avoimina. Verkon jakorajoina käytetään usein käsin ohjattavia erottimia. Keskijännitekaapelin viankorjaus on usein aikaa vievää, joten rengasyhteyksien rakentaminen kaapeliverkossa on kannattavampaa kuin nopeasti korjattavissa avojohtoverkoissa. Haja-asutusalueen keskijänniteverkko rakennetaan säteittäisiksi, koska silmukan rakentamisesta aiheutuvat kulut olisivat suuremmat kuin sähkönjakelun keskeytyskustannuksien pienenemisestä saatava hyöty. (Lakervi 1996, 29.)

4.2 Pienjänniteverkko

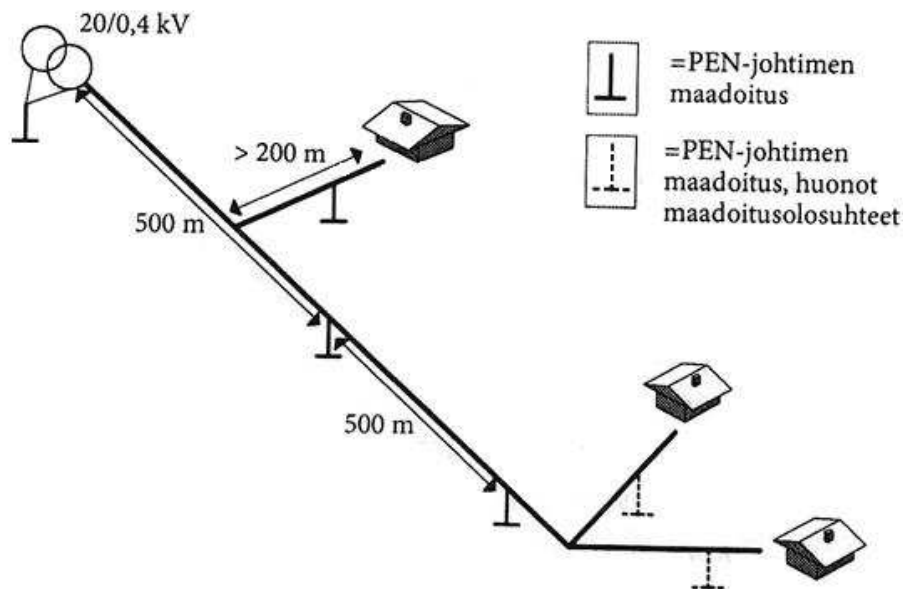
Pienjänniteverkon syöttöpisteenä toimii jakelumuuntamo, jossa 20kV muutetaan 0,4kV. Keskijänniteverkossa kuormitukset ovat jakelumuuntamoita, kun taas pienjänniteverkossa kuormitukset ovat sähkön loppukäyttäjiä. Pienjänniteverkon vikavirta- ja ylikuormitussuoja toteutetaan jakelumuuntamolla. Muuntamossa jokainen lähtö on varustettu sulakkeilla. Tämän seurauksena pienjänniteverkon viat eivät vaikuta keskijänniteverkon toimintaan. Pienjänniteverkko poikkeaa keskijänniteverkosta verkon suojauksessa. Normaalisti pienjänniteverkko on maadoitettu, kun taas keskijänniteverkko on maasta erotettu tai sammutettu. (Lakervi & Partanen 2009, 158 - 159.)

Pienjänniteverkon kuormitus vaihtelee suuresti riippuen siitä onko kyseessä, joko kaupunkialue tai haja-asutusalue. Kaupungeissa pienjännitekuormituksen keskimääräinen tehotiheys voi olla megawatteja neliökilometrille, kun taas haja-asutusalueella tehotiheys on enintään kymmeniä kilowatteja. Sen seurauksena saman jänniteportaan verkot ovat tehtävältään sekä toteutukseltaan niin erilaisia, että niiden rakenteiden ja suojausten on oltava keskenään erilaisia ollakseen järkeviä. (Lakervi & Partanen 2009, 158 - 159.)

4.2.1 Pienjänniteverkon suojaus ja maadoitus

Pienjänniteverkossa vaihejännitteen ollessa 230 V on verkon tehokas suojaaminen erittäin tärkeää sähkötapaturmien ehkäisimeksi. 230V kosketusjännite on ihmiselle vaarallinen. Toisaalta pienjännitejohdolla siirrettävä teho on paljon pienempi kuin keskijännitejohdoilla, joten käyttövarmuuden parantamiseksi ei kannata tehdä yhtä tehokkaita ja kalliita suojalaitteita kuin 20kV:n järjestelmissä. Suojauksen tulee olla teknillisesti ja taloudellisesti mitoitettu, ottaen huomioon verkko, jota suojaamaan se on tarkoitettu. Tavallisin pienjänniteverkon vikavirtasuojalaite on varoke. Varoke sijoitetaan jakelumuuntamolla kunkin lähdön kaikkiin vaihejohtimiin. Sulake mitoitetaan kestäämään verkon aiheuttama kuormitusvirta, mutta myös toimimaan riittävän nopeasti verkon loppupäässä tapahtuvassa yksivaiheisessa oikosulussa. Mikäli edellä mainittuja ehtoja ei voida täyttää, joudutaan käyttämään suurempaa johdinpoikkipintaa, tai asettamaan johdolle välivarokkeita. (Lakervi & Partanen 2009, 162 - 163.) Kaapeloidussa verkossa välisulakkeiden asentaminen on helppoa, sillä ne voidaan sijoittaa asiakasjohtojen verkkoon liittämässä käytettävään jakokaappiin (Elovaara & Laiho 1999, 65).

Pienjänniteverkon maadoituksen tehtävänä on toimia vaarallisten kosketusjännitteiden potentiaalintasaajana. Jakelumuuntamon kipinävälissä syntyvä keskijänniteverkon maasulku aiheuttaa pienjänniteverkon PEN- johtimessa maadoitusjännitteen suuruisen jännitteen. Ilman asianmukaista maadoitusta, voi sähkönkäyttäjällä esiintyä erittäin vaarallisia kosketusjännitteitä esim. sähkölaitteen maadoitetun kuoren ja maan välillä. Oikein toteutetulla maadoituksella maan potentiaali sähkönkäyttäjän lähellä nousee maadoitusjännitteen suuruiseksi, ja näin estää vaarallisen kosketusjännitteen syntymisen. Jakeluverkon PEN- johdin on aina maadoitettava syöttöpisteessä (tässä tapauksessa muuntaja) tai korkeintaan 200 metrin päässä siitä. Lisäksi jokainen yli 200 metriä pitkä johto tai johtohaara on maadoitettava loppupäästään, tai enintään 200 m:n päässä siitä. AMKA- johdoilla maadoittamista suositellaan vähintään 500 metrin välein ylijännitesuojauksen toimivuuden takia. Maadoitusimpedanssin arvon tulisi maadoituselektrodilla olla alle 100Ω . Arvon ylittyessä on toimittava huonojen maadoitusolosuhteiden mukaisesti, jolloin maadoitus tehdään jokaiselle johtohaaralle erikseen. Kuvassa 1 on esitetty pienjänniteverkon maadoittaminen. (Lakervi & Partanen 2009, 198 - 199.)



KUVA 1. Pienjänniteverkon maadoittaminen (Lakervi & Partanen 2009, 198).

5 VOIMANSIIRTOJÄRJESTELMÄN VIKATAPAUKSET

Voimansiirtojärjestelmissä voi esiintyä erilaisia vikoja kuten maasulkuja ja oikosulkuja. Edellä mainitut viat voidaan jakaa joko symmetrisiin vikoihin tai epäsymmetrisiin vikoihin. Vikoja voi aiheuttaa ilmastolliset ylijännitteet, inhimilliset erehdykset tai ylikuormitus. Vika saattaa johtaa häiriöön, jossa sähkön jakelu katkeaa joko täydellisesti tai osittain. (Aura & Tonteri 1993, 159.)

5.1 Oikosulku

Oikosulku on kahden tai useamman virtajohtimen välinen pieni- impedanssinen eristysvika. Oikosulku voi olla yksivaiheinen, jos eristysvika sattuu yhden äärijohtimen ja nollajohtimen välillä. Monivaiheisessa oikosulussa eristysvika sattuu kahden tai useamman äärijohtimen välillä. (Lakervi & Partanen 2009, 28.)

Vaikein kolmivaihejärjestelmässä esiintyvä vika on vastukseton kolmivaiheinen oikosulku. Oikosulkuvirran suuruus on 30...40-kertainen nimelliseen kuormitusvirtaan verrattuna. Oikosulkuvirta voi vioittaa johtimia ja kojeita. Kolmivaiheista oikosulkua

syöttää normaalitilanteessa symmetrinen kolmivaihejännite. Oikosulun alkuhetkestä riippuen virta voi olla joko symmetrinen tai epäsymmetrinen. Symmetrinen virta syntyy kun oikosulku tapahtuu jännitteen huippuarvon hetkellä. Normaalisti oikosulkuvirta on symmetrisen ja epäsymmetrisen välimuoto. (Aura & Tonteri 1993, 159.)

5.2 Maasulku

Maasulku on käyttömaadoittamattoman virtajohtimen ja maan kanssa johtavassa yhteydessä olevan osan välinen eristysvika. Maasulku voi olla yksi- tai monivaiheinen. Monivaiheisessa maasulussa eristysvikojen sattuessa samaan kohtaan järjestelmässä on kyseessä maaosikosulku. Vikojen ollessa eri kohdissa järjestelmää on kyseessä kaksoismaasulku tai kolmoismaasulku. (Aura & Tonteri 1993, 162.)

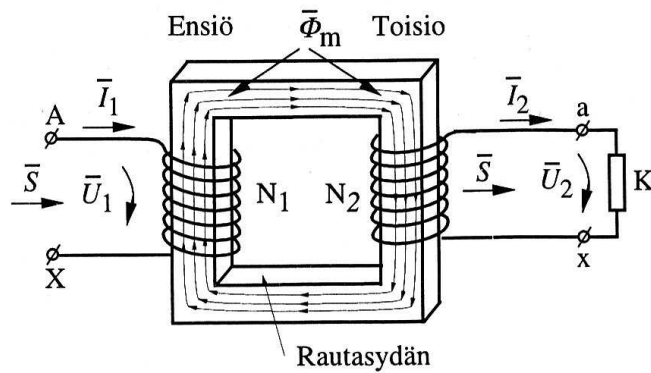
Maasulkuvirta kulkee vikapaikan kautta maahan, maadoitusjohtimeen tai maadoitus-suojajohtimeen. Oikosulkuvirran suuruus riippuu vikapaikan ja verkon syöttöpisteen välisestä etäisyydestä. Maasulkuvirran suuruus määräytyy vikaimpedanssin sekä maasulussa olevan verkon laajuudesta. (Aura & Tonteri 1993, 162.)

6 JAKELUMUUNTAJA

Jakelumuuntajat ovat muuntajia, joita käytetään muuntamaan keskijänniteverkon jännite pienemmäksi muuntajan muuntosuhteen mukaisesti. Yleisin jakelumuuntajan muuntosuhde on 20 000V / 400 V.

6.1 Yksivaihemuuntaja

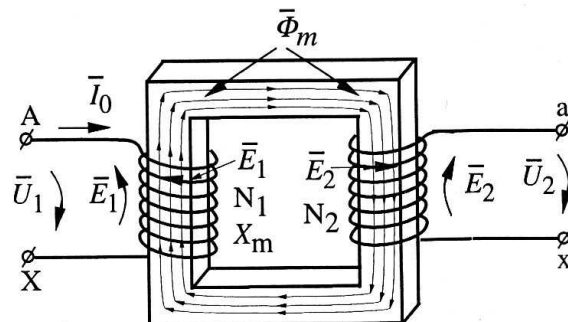
Kuvassa 3 esitetään yksivaihemuuntaja, joka on rakenteeltaan kaksikämmimuuntaja. Yksivaihemuuntajassa ensiö- ja toisiokäämit ovat asennettu samalle rautasydämelle. Muuntajan ensiöksi kutsutaan käämiä N_1 , johon sähköteho $S = U_1 \cdot I_1$ tuodaan ja toisioksi käämiä N_2 , josta sähköteho $S = U_2 \cdot I_2$ edelleen otetaan kuormitukseen. Nimet määräytyvät tehon virtaussuunnan mukaan. Teho S siirtyy ensiöstä toisioon vaihtomagneettivuon Φ_m välityksellä. (Aura & Tonteri 1996, 8 - 9.)



KUVA 3. Yksivaihemuuntajan rakenneperiaate (Aura & Tonteri 1996, 8).

6.2 Tyhjäkäyvä häviötön muuntaja

Häviöttömällä muuntajalla tarkoitetaan, että muuntajan käämeissä ei synny virtalämpöhäviöitä, eikä rautasydämessä rautahäviöitä. Hajavuon arvo on nolla, jolloin sama magneettivuo lävistää sekä ensiö- että toisiokäämin. (Aura & Tonteri 1996, 9.)



KUVA 4. Häviötön yksivaihemuuntaja tyhjäkäynnissä (Aura & Tonteri 1996, 9).

Kuvassa 4 häviötön yksivaihemuuntaja on tyhjäkäynnissä, koska sen toisiopiiri on auki eli $I_2=0$. Ensiön liitinjännite painaa ensiökäämin läpi tyhjäkäyntivirran I_0 , joka aiheuttaa rautasydämeen magneettivuon.

$$\Phi_m = \frac{N_1 I_0}{R_m} \quad (1)$$

jossa N_1 on ensiökäämin kierrosmäärä ja R_m magneettipiirin reluktanssi.

Sinimuotoinen vaihtovuo indusoi muuntajan käämeihin sähkömotorisen jännitteen. Ensioikämin indusoituneen sähkömotorisen jännitteen tehollisarvo on

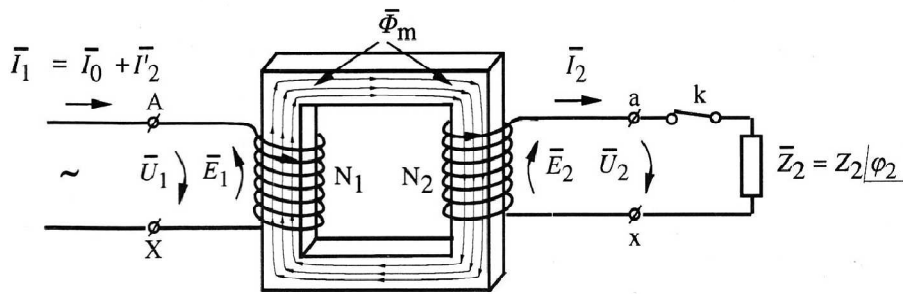
$$E_1 = \omega N_1 \Phi_m = 2\pi f N_1 \Phi_m \approx 4,44 f N_1 \hat{\varphi}_m. \quad (2)$$

Toisiokäämiin indusoituva sähkömotorinen voima on

$$E_2 = \omega N_2 \Phi_m = 2\pi f N_2 \Phi_m \approx 4,44 f N_2 \hat{\varphi}_m. \quad (3)$$

(Aura & Tonteri 1996, 9-10.)

6.3 Häviötön yksivaihemuuntaja kuormitettuna



KUVA 5. Häviötön yksivaihemuuntaja kuormitettuna (Aura & Tonteri 1996, 272).

Toisiokäämiin kytkettäessä kuormituksen, ottaa se virran I_2 . Magneettipiiriin syntyy ylimääräinen magnetomotorinen voima $N_2 N_1$. Syntynyt magnetomotorinen voima pyrkii muuttamaan magneettivuota Φ . Ensiojännitteen U_1 ollessa vakio, on myös vasta-lähdejännitteen oltava vakio, jotta tasapainotilanne säilyisi. Ensioikämin virran kasvaessa täsmälleen niin suureksi, että mmv kumoutuu ja magneettivuo Φ säilyy ennallaan. Tyhjäkäyntivirran aiheuttama mmv jää resultoitavaksi. Kuvassa 5 on esitetty häviötön yksivaihemuuntaja kuormitettuna.

Magneettivuo Φ , joka kulkee ensioikämin läpi, kulkee myös toisiokäämin läpi. Toisiokäämiin syntyy lähdejännite:

$$E_2 = 2\pi f N_2 \Phi \quad (4)$$

Häviöttömässä muuntajassa pätee $U_1 = E_1$ ja $U_2 = E_2$, saadaan muuntosuhteeksi μ kaavojen 2 ja 3 mukaan.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \mu \quad (5)$$

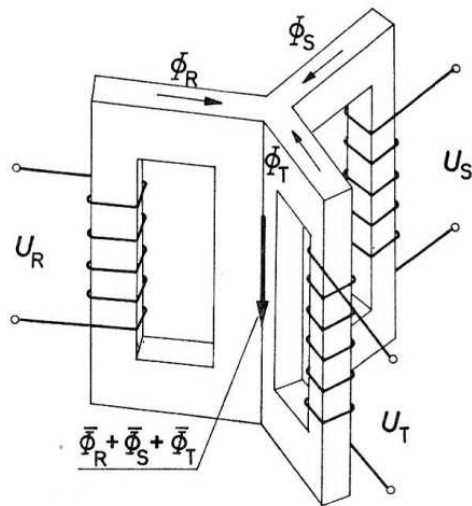
6.4 Todellinen yksivaihemuuntaja

Edellä tarkisteltujen muuntajien toimintaperiaatteet ovat olleet häviöttömällä muuntajalla. Todellisuudessa muuntajassa tapahtuu häviöitä, jotka johtuvat esimerkiksi ensiökäämin ja toisiokäämin resistansseista. Häviöiden vuoksi muuntajan ensiökäämiin syötettyä tehosta ei voida kaikkia siirtää toisiopiirin kuormitukseen. Muuntajan tehohäviöt jaetaan rauta- eli tyhjäkäyntihäviöihin ja kupari- eli kuormitushäviöihin. (Ruppa & Lilja 2003, 56 - 57.)

Muuntajan sydämessä syntyvät hystereesi- ja pyörrevirtahäviöt muodostavat rautahäviöt. Magneettivuon vaihtelu raudassa aiheuttaa rautahäviöt. Magneettivuo on lähes riippumaton kuormituksesta, jolloin kuormitus ei vaikuta rautahäviöiden suuruuteen. Muuntajan tyhjäkäynnissä ottama pätöteho vastaa suurella tarkkuudella sen rautahäviöitä. Ensiökäämin kehittämä magneettivuo ei myöskään kulje toisiokäämin kautta kokonaisuudessaan, vaan osa siitä kulkee toisiokäämin ohi ns. hajavuona. Hajavuo aiheuttaa muuntajan käämeihin hajareaktanssin. (Ruppa & Lilja 2003, 56 - 57.)

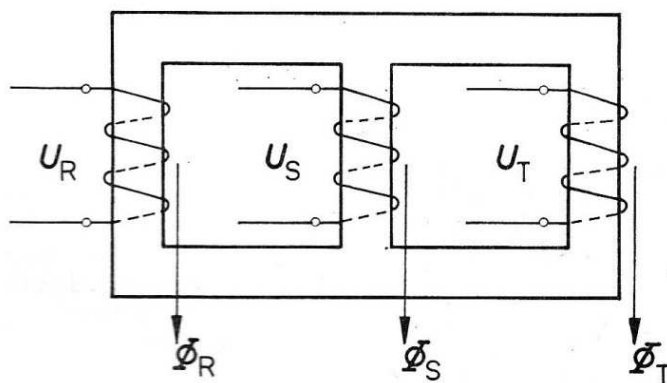
6.5 Kolmivaihemuuntaja

Kolmivaihemuuntaja saadaan kytkemällä kolme yksivaiheista muuntajaa tähteen. Kolmivaiheisessa muuntajassa ensiö- ja toisiokäämit on kytketty sähköisesti yhteen, mutta ei magneettisesti. Jokaisen yksivaiheisen muuntajan magneettivuo kulkee omassa erillisessä rautasydämessä. Jokainen yksivaihemuuntaja muodostaa yhden kolmivaihemuuntajan vaiheista, kuvassa 6. (Aura & Tonteri 1996, 38.)



KUVA 6. Symmetrinen kolmivaihemuuntaja (Pöyhönen 1975, 294).

Kolmivaihejärjestelmän vaiheet ovat 120° :n vaihesiirrossa toisiinsa nähden, ja niin ovat myös kolmivaihemuuntajan magneettivuotkin. Rakennettaessa kuvan 6 mallinen muuntaja kolmesta yksivaihemuuntajasta, voidaan tutkia yhteispylväässä kulkevaa magneettivuota. Pylväässä kulkee kaikkien kolmen muuntajan vuot, jolloin ne kumoavat toisensa. Sen seurauksena yhteinen pylväs voidaan jättää pois rakenteesta. S-vaiheen ikeet lyhennettäessä tulevat kaikki pylväät samaan tasoon, jolloin päädytään kuvassa 7 esitettyyn tavalliseen kolmivaihemuuntajan rakenteeseen. (Pöyhönen 1975, 293 - 294.)



KUVA 7. Tavallinen kolmivaihemuuntaja (Pöyhönen 1975, 294).

6.6 Muuntajan kytkennät

Kolmivaihemuuntajassa voidaan vaihekäämit kytkeä joko tähteen, kolmioon, tai haka-tähteen. Ylä- ja alajännitekäämityksessä voidaan käyttää sekä tähti- tai kolmiokytkentää. Hakatähtikytkentää käytetään puolestaan vain jakelumuuntajien alajännitekäämityksessä. Kuvassa 8 on esitetty kolmivaihemuuntajan standardoidut kytkennät, jossa Suomessa yleisemmin käytössä olevat kytkennät on rajattu.

TUN- NUS- LUKU	KYT- KEN- TÄ	OSOITINKUVAT		KYTKENNÄT	
		YJ	AJ	YJ	AJ
0	Dd0				
	Yy0				
	Dz0				
5	DY5				
	Yd5				
	Yz5				
6	Dd6				
	Yy6				
	Dz6				
11	Dy11				
	Yd11				
	Yz11				

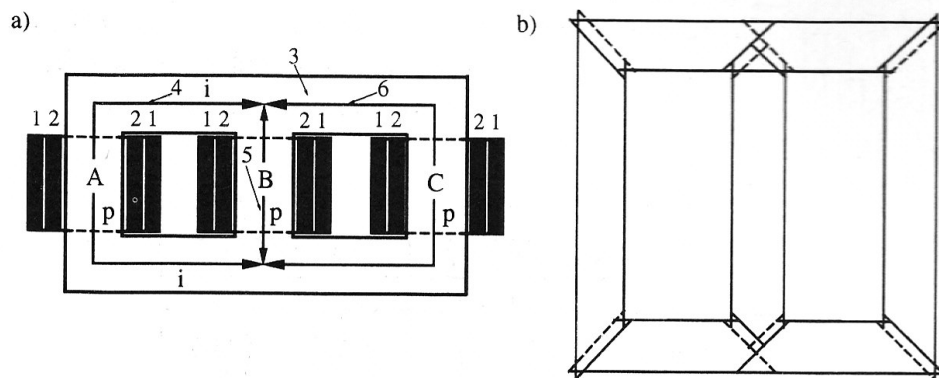
KUVA 8. Kolmivaihemuuntajan standardoidut kytkennät (Aura & Tonteri 1996, 41).

Standardoidut kytkennät jaetaan neljään eri kytkentäryhmään, joiden tunnusluvut ovat 0, 5, 6 ja 11. Jokaisessa kytkentäryhmässä on valittavana kolme eri kytkentää, joten

käytännön muuntajakäämityksessä on valittavissa 12 erilaista kytkentää. (Aura & Tonteri 1996, 40 - 41.)

6.7 Rakenne

Jakelumuuntajat ovat rakenteeltaan kolmivaihemuuntajia. Kuvassa 9 a) ovat kolmivaihemuuntajan aktiiviset osat magneettipiiri ja muuntajakäämitys. Magneettipiirin muodostaa muuntajalevyistä tehty rautasydän, jonka osat ovat pylväät (p) sekä ylä- ja alaies (i). Alajännitekäämi on usein lähinnä rautasydäntä, sillä se on helpoin eristää. Lisäksi muuntajan muuntosuhdetta voidaan säätää yläjännitekäämin yhteyteen asettamalla väliotto- tai käämikytkimellä. Yläjännitekäämin ollessa lähinnä rautasydäntä olisi hankala saada jännitteen säätökäämeistä tarvittavia ulosottoja. Rautasydän valmistetaan pienihäviöisestä noin 0,3 mm vahvuisesta suunnatusta muuntajalevystä. Suunnattu muuntajalevyn magneettiset ominaisuudet ovat magneettivuon kulkiessa levyn valssaussuuntaan paremmat kuin muissa suunnissa. Pyörrevirtoja voidaan estää laittamalla levyn pinnalle ohut eristekerros. Pylvään ja ikeen välinen sauma on 45° kulmassa, kuvassa 9 b). Näin saadaan magneettivuo kulkemaan muuntajalevyssä mahdollisimman paljon valssaussuunnassa, jolloin tehohäviöt ja magnetoimisvirta tulevat mahdollisimman pieniksi. (Aura & Tonteri 1996, 280.)



KUVA 9. a) Kolmivaihemuuntajan aktiiviset osat. 1 ylä- ja 2 alajännitekäämit vaiheissa A, B ja C. 3 on rautasydän ja 4,5 sekä 6 erivaiheiden magneettipiirit. b) Kolmivaihemuuntajan rautasydän, jossa 45° limiliitokset. (Aura & Tonteri 1996, 40).

Muuntajien käämitykset valmistetaan joko alumiinista tai kuparista. Alajännitekäämi tehdään paperieristeisestä muotolangasta joko kaksikerroskääminä tai suuria virtoja

varten ruuvikäiminä. Jakelumuuntajissa alajännitekäämit voidaan valmistaa leveästä alumiininauhasta. Alajännitekäämin ja rautasydämen välissä on prespaanilieriö. (Aura & Tonteri 1996, 39 - 40.)

Yläjännitekäämit tehdään normaalisti pieniä virtoja varten monikerroskääminä joko pyörö- tai muotolangasta. Lanka voi olla joko lakka- tai paperieristeinen. Kerroseristyksenä käytetään paperia. Suuria virtoja varten yläjännitekäämi tehdään muotolangasta jatkuvana levyvyyhtikäiminä. Ylä- ja alajännitekäämin välissä on eristelierio ja jäähdytyskanava. (Aura & Tonteri 1996, 40.)

6.7.1 Öljyeristeiset muuntajat

Öljyeristeiset muuntajat voidaan jakaa kahteen eri ryhmään, paisuntasäiliöllä varustettuihin muuntajiin ja hermeettisesti suljettuihin muuntajiin. Hermettisesti suljetussa muuntajassa koko muuntaja on täytetty öljyllä. Muuntajassa ei kuitenkaan ole paisuntasäiliötä, jonne lämmöstä laajeneva öljy johdetaan. Lämmöstä johtuva öljytilavuuden muutokset ovat mahdollisia joustavien jäähdytysaaltolevyjen ansiosta. Hermettinen rakenne estää hapen ja kosteuden haitallisen vaikutuksen muuntajan öljyyn ja käämieristykseen. Perinteiseen paisuntasäiliöllä varustettuun muuntajaan verrattaessa, hermeettinen rakenne on pitkäikäisempi ja huoltovapaampi. (Tiainen 2004, 39.)

Hermettistä muuntajaa voidaan käyttää sekä sisäkäytössä, että ulkokäytössä. Puuttuvan paisuntasäiliön takia hermeettiset muuntajat ovat matalampia kuin paisuntasäiliölliset muuntajat. Niitä voidaan käyttää ahtaammissa tiloissa. Nykyisin hermeettisesti suljettu rakenne on yleisemmin käytössä oleva. Teollisuudessa käytetään paisuntasäiliöllisiä muuntajia, jossa öljyn lämpeneminen näkyy öljynpinnan korkeuden vaihteluna paisuntasäiliön öljylasissa. Tällaisissa muuntajissa käytetään myös usein ilman-kuivaajia. (Tiainen 2004, 39; Ylinen 2006, 32.)

Muuntajaöljyn tilavuuden vaihtelu johtuu lämpötilan muutoksesta. Tästä seuraa tilanne, jossa muuntaja vuoroin imee ulkopuolelta sisään ilmaa, ja vuoroin puristaa ilmaa ulos. Kosteaa ilmaa kanssa kosketuksiin joutuva muuntajaöljy imee itseensä kosteutta. Ilman paisuntasäiliötä öljyn kunto alenee nopeasti. Paisuntasäiliö on vain osittain täytetty öljyllä, jolloin öljylle jää vapaata tilaa liikkua. Ilman ja öljyn välinen kosketuspinta on paisuntasäilössä pieni ja öljyn lämpötila alhainen. Kosteuden imeytyminen

öljyyn on tällöin vähäistä. Kosteus tiivistyy paisuntasäiliön pohjalle vedeksi ja se voidaan poistaa sieltä tyhjennystulpan kautta. Pohjalle painuneen vesipitoisen öljyn pääseminen muuntajaan voidaan estää nostamalla muuntaja- ja paisuntasäiliön yhdistysputken pää paisuntasäiliön pohjan yläpuolelle. Paisuntasäiliöllä voidaan estää öljynpaineen nouseminen liian suureksi, jolloin se aiheuttaisi muuntajassa vuotoja. Muuntajan käydessä kylmänä, varmistetaan paisuntasäiliöllä sen riittävä öljyn saanti. (Aura & Tonteri 1996, 72; Ylinen 2006, 40.)

Muuntajassa esiintyvä ylikuumeneminen, purkaus- tai valokaari-ilmiö saa aikaan eristeaineiden tai öljyn hajoamisen kaasuiksi. Kaasureleellä pystytään suojaamaan tehomuuntajaa, sillä kaasu kerääntyy kaasureleeseen ja aiheuttaa hälytyksen. Kaasureleessä oleva hälytys- ja laukaisukosketin on kytketty muuntajan pääkatkaisijoiden laukaisupiiriin. Suurten vikojen sattuessa muuntajaan syntyy paineaalto, jolloin muuntajaöljy syöksyy paisuntasäiliöön. Kaasureleen läpi kulkeva öljysyöksy saa aikaan muuntajan poiskytketymisen verkosta. (Aura & Tonteri 1996, 73.)

Öljyn tilavuuden muutoksesta aiheutuva sisään- ja uloshengitys imee kosteutta muuntajaöljyyn. Sisään tuleva ilma voidaan kuivata erillisellä ilmankuivaimella. Ilmankuivaimen kuivauspanos on valmistettu hygroskooppisesta kuivausaineesta, joka yleensä on silikageelia. Kuivauspanos on läpinäkyvän muovisen lieriön sisällä. Muuntajaan virtaavasta ilmasta sidotaan kosteus pois ilmankuivaimen. Muuntajan uloshengitysilmaa ei johdeta ilmankuivaimen läpi, jolloin muuntajasta poistuva kostea ilma ei pääse kostuttamaan kuivauspanosta. Kuiva silikageeli on väriltään sininen ja kostunut punertava. Kuivauspanos on vaihdettava, kun viides osa sinistä väriä on jäljellä panossäiliön yläosassa. (Aura & Tonteri 1996, 74.)

Muuntajan käynti- ja huippulämpötilaa voidaan valvoa lämpötilamittareilla. Lämpötilamittarit asennetaan muuntajan kannessa sijaitsevaan öljyllä täytettävään lämpötilamittaritaskuun. Käytettyjä lämpötilamittareita ovat kosketinlämpötilamittari ja kapillaarimittari. (Tiainen 2004, 37.)

Kosketinlämpötilamittari on varustettu kahdella lämpötilan noustessa toimivalla sulkukoskettimella, joiden virtapiirit ovat toisistaan eristetyt. Sulkukoskettimet toimivat lämpötilan noustessa yli asetettujen rajojen. Toinen koskettimesta on hälytys- ja toinen laukaisukosketin. Koskettimet voidaan asettaa erikseen. Mittarissa on palautettava

maksimilämpötila osoitin. Kapillaarimittari sijaitsee muuntajan sivussa tai muuntajakomeron etuseinällä. Mittarin tuntoelin asennetaan muuntajan kannessa olevaan lämpötilamittaritaskuun. Kapillaarimittarissa on kaksi sulkukosketinta, jotka toimivat vain lämpötilan noustessa. Mittarissa on myös maksimilämpötilan osoitin, joka voidaan palauttaa mittarin ulkopuolelta. (Aura & Tonteri 1996, 74 - 75.)

Normaalisti jakelumuuntajilla käytettäviä lisävarusteita on öljynkorkeuden osoitin. Edellä kuvatut laitteet ovat yleensä vakiovarusteena suurmuuntajissa, mutta niitä voidaan käyttää myös suuremmissa jakelumuuntajissa. (Ylinen 2006, 41.)

6.7.2 Kuivamuuntajat

Kuivamuuntaja voidaan valmistaa usealla eri rakenteella. Normaaleja käytettävissä olevia rakenteita ovat valuhartsieristeiset tai ilmaeristeiset. Kuivamuuntajassa ei käytetä lainkaan öljyä. Nykyiset hartsimuuntajat eivät aiheuta ympäristölle niin suuria vahinkoja sen tuhoutuessa verrattaessa öljyeristeiseen muuntajaan. Muuntaja on rakennettu itsestään sammuvasta materiaalista, ja niiden palokuormat ovat pienet. Valuhartsisia muuntajia käytetään tiloissa, missä palovaaran tai saastumisvaaran takia nestäyttyneistä muuntajaa ei saa käyttää, tai käyttö vaatii kalliita eristystoimenpiteitä. Kuivamuuntajan haittoina on niiden huonompi luotettavuus ja ylikuormitettavuus kuin öljyeristeisellä muuntajalla. Usein kuivamuuntajan hankintahinta on 1,3 - 2 kertaa suurempi kuin öljyeristeisellä muuntajalla. Tosin hinta ero tasaantuu mentäessä suurempiin muuntaja kokoihin. Kuivamuuntajan käynti ääni on korkeampi kuin vastaavan öljyeristeisen. (Tiainen 2004, 41; Aura & Tonteri 1996, 69; Ylinen 2006, 32.)

Muuntajaa valittaessa päädytään normaalisti öljyeristeiseen muuntajaan, jos mikään ei estä sen käyttöä. Kuitenkin on paikkoja joissa kuivamuuntajan käyttö tulee kyseeseen. Tällaisia alueita ovat pohjavesialueet, sairaalat ja pölyiset tilat. Muuntajan mennessä rikki, on se korvattava mahdollisimman nopeasti uudella. Usein verkonhaltijalla on varalla öljyeristeisiä muuntajia, kun taas sopivan kuivamuuntajan löytäminen rikkoutuneen tilalle on vaikeaa. (Ylinen 2004, 35.)

7 PUISTOMUUNTAMO

Puistomuuntamoa käytetään yleensä taajamien kaapeliverkkojen muuntamona, joissa sen rakentamiselle löytyy sopiva tila. Puistomuuntamo on yleensä tehdasvalmisteinen teräsbetonialustalle asennettava valmismuuntamo. Muuntamon rakenne voidaan jakaa sen hoitotavan perusteella, joko sisältä hoidettaviin, tai ulkoa hoidettaviin. Asennustavaltaan puistomuuntamot voidaan jakaa, joko osittain maahan upotettaviin, tai maan pinnalle asennettaviin. (Monni 1996, 70.) Puistomuuntamon rakentamiselle on annettava rakennuslupa, joka tässä tapauksessa annettiin Mikkelin kaupungilta.

7.1 Kohteeseen valittu puistomuuntamo

Kohteeseen valittiin Holtab Oy valmistama puistomuuntamo. Puistomuuntamo on ulkoa hoidettava ja se asennetaan maan päälle. Muuntamon metallirakenteet ovat valmistettu alumiinin ja sinkin yhdisteestä. Alumiinin ja sinkin yhdistelmän käytöllä saadaan aikaiseksi parempi suoja korroosiota vastaan, kuin galvanoidulla metallilla. Muuntamon rakenteet ovat kierrätettäviä. Puistomuuntamoksi valittiin malli TSK 315-4, 24kV. Liitteessä 1 on puistomuuntamon piirustukset ja mitat. (Construction description.) Valitun muuntamon rakenteessa on neljä kennoa, josta yksi jäi varalle. Varalla olevasta kennosta voidaan tulevaisuudessa rakentaa lähtö.

7.2 Kohteeseen valittu muuntaja

Jakelumuuntajaksi kohteessa valittiin ABB:n öljyeristeinen 500 kVa muuntaja. Etelä Savon Energia Oy toimitti muuntajan. Toimitettu muuntaja on ollut aikaisemmin käytössä, mutta ennen lopullista sijoitusta muuntaja huollettiin. Ennen muuntajan huoltoa tulee tarkastella uuden muuntajan hintaa ja vanhan muuntajan huoltokustannusta, sekä muuntajien jäljellä olevaa käyttöikää. Näin saadaan selville kannattaako vanha muuntaja huoltaa, vai tuleeeko uuden muuntajan ostaminen pitkällä aikavälillä kustannustehokkaammaksi. Kuvassa 2 on esitetty muuntajan arvokilpi.

ABB

3-VAIHE, ÖLJYERISTEINEN MUUNTAJA

Laji CTF-500/20.5PNS DTSP-L3M128

Valmistusvuosi 2006 N:o 1LPL370698

Nimellisteho 500 kV·A SSTL numero 5761005

Nimellisjännite [kV] Virta [A] Eristystaso

YJ 20.5 ± 2x2.5% 14.1 LI125AC50

AJ 0.41 704 AC8

Vaiheväli	Jännite YJ [V]	Kytkentäryhmä	Dyn11
1	21525	Oikosulkuiimpedanssit	4.48 %
2	21013	Kuormitushäviöt	5251 W
3	20500	Tyhjäkäyntihäviöt	697 W
4	19988	Öljyn paino	294 kg
5	19475	Kokonaispaino	1500 kg

Nimellistajuuus 50 Hz

Jäähdytys ONAN

Sallittu lämpenemä: Sydämen ja käämin paino 970 kg

Käämille 65 K Öljylle 60 K Stand. EN 60076-1:1997

Öljyn tyyppi NYNAS-NYTRO 10XN Öljy täyttää standardin IEC-296

KUVA 2. Muuntajan arvokilpi (Pakkanen 2011).

Huollossa muuntajalle tehtävät tärkeimmät toimenpiteet ovat eristysosien kuivaus, öljyn suodatus ja käämien kiristys. Huollossa tarkistetaan ja kiristetään kaikki puristusliitokset. Muuntajan alajännitekäämistä otetusta paperieristeestä otetaan DP- mittaus, josta selviää muuntajan kunto. DP- luvulla mitataan paperieristeen vanhenemista. Sen perusteella voidaan selvittää onko käämitykset vaihdettava, vai riittääkö pelkkä käämien kiristys. Luvusta saadaan myös selville muuntajan jäljellä oleva käyttöikä. Uudessa paperieristeessä DP- luku vaihtelee 1000–1300 välillä. Vanhassa muuntajieristyksessä luku voi olla 150 - 200. Luvun ollessa alle 400, on muuntajaan vaihdettava käämitykset. Muuntaja laitetaan huollossa kerosiiniuunikuivatukseen, jossa kerosiinihöyry puhdistaa muuntajan öljystä ja muista epäpuhtauksista. Tyhjiökuivatuksen avulla poistetaan kosteutta erittäin tehokkaasti. Uunin lämpötila nousee 130°:een ja alipaine laskee lähes täydelliseen tyhjiöön. Lopuksi huollettu muuntaja koestetaan koekentälle standardien mukaisesti. (Aro, Elovaara, Karttunen, Nousiainen & Palva 1996, 175; Nikkari 2009, 8 - 9.)

8 YLEISTÄ MAADOITTAMISESTA

Maadoituksen tarkoituksena on yhdistää sähkölaitteen tai virtapiirin jokin kohta maahan metallisen kappaleen, eli maadoituselektrodin välityksellä. Maadoituksen tehokkuuden mittana käytetään elektrodin maadoitusresistanssia, mikä ilmoittaa elektrodin potentiaalin ja sen kautta maahan kulkevan virran osamäärän. (Elovaara & Laiho 1999, 413.)

Sähköturvallisuusmääräyksissä maadoitukset jaetaan käyttö- ja suojamaadoituksiin. Käyttömaadoittamisessa virtapiiriin osa yhdistetään maahan suoraan tai pienen impedanssin välityksellä. Suojamaadoituksessa maadoitukseen liitetään virtapiiriin kuulumaton osa, joka on jännitteelle altis, esimerkiksi sähkölaitteen metallinen runko. Käyttömaadoituksen tarkoituksena on pitää virtajohtimen jännite maan suhteen sallituissa rajoissa. Käyttömaadoituksen tehtävänä on pitää jännite-epäsymmetria ja maavirta niin pieninä, että niistä aiheutuvat häiriöt heikkovirtalaitoksille jäävät mahdollisimman pieniksi. Suojamaadoituksella estetään vaarallisen kosketusjännitteen syntyminen kosketeltavaan jännitteelle alttiiseen osaan. (Elovaara & Laiho 1999, 413.)

8.1 Maadoituksen tarkoitus

Maadoituksen ensisijaisena tehtävä on sähköturvallisuuden parantaminen. Maadoituksen avulla pystytään rajoittamaan vikatapauksissa esiintyviä kosketusjännitteitä ja askeljännitteitä. Sähköturvallisuuden kannalta maadoituksella pystytään estämään vaarallisten jännitteiden siirtyminen järjestelmästä toiseen, sekä estämään vuotovirtojen, kipinöiden ja valokaarien syntyminen. (Tiainen 2007, 25.)

Syitä maadoituksen tekemiseen, on estää vaarallisten kosketusjännitteiden syntymistä laitteistossa vikatapauksissa. Vikatilanteet voi myös johtua ilmastollisista ylijännitteistä. Maadoituksella pystytään luomaan vikavirralle kontrolloitu reitti, ja siten varmistaa suojalaitteiden toiminta. Maadoitus on tärkein suojaustoimenpide, jolla sähkönjakelusta ja käytöstä voidaan tehdä turvallista. Vikatilanteen sattuessa, maadoituksella estetään vaaratilanteiden syntyminen ihmisille, sekä laitteiston vioittuminen. (Tiainen 2007, 53.)

8.2 Maadoituksen rakenne

Maadoitusjärjestelmää voidaan toteuttaa kahdella erilaisella ratkaisulla, joko säteittäisenä rakenteena, tai verkkomaisena rakenteena. Yleisemmin käytetty maadoitusratkaisu on säteittäinen järjestelmä. Peruseriaatteena on silmukoiden välttäminen, jotka aiheuttavat potentiaalieroista johtuvia tasoitusvirtoja, tai joihin voisi induktiivisen kytkennän kautta siirtyä häiriöitä muista virtapiireistä. (Tiainen 2007, 54.)

Käytännössä säteittäistä maadoitusjärjestelmää on vaikea toteuttaa sähköverkon suojajohtimen kautta. Sähkökeskukset ja monet kojeet kiinnitetään seiniin tai lattiaan, jolloin ne joutuvat kosketuksiin rakennuksen rungon kanssa ja muodostavat silmukoita järjestelmän eri osien välille. Säteittäistä maadoitusverkkoa on myös vaikea pitää säteittäisenä, sillä myöhemmin tehtävät muutostyöt ja asennukset saattavat aiheuttaa ylimääräisiä silmukoita. Täysin säteittäisen maadoitusjärjestelmän voi toteuttaa käyttämällä suojajohtimesta erillistä maadoitusjohdinta, ja sen kautta maadoitetut laitteet on eristettävä runkorakenteista ja sähköverkon suojajohtimeen maadoitetuista laitekaapeleista. Teollisuuden automaatiojärjestelmiä maadoitetaan erillisellä häiriöttömällä maadoitusjohtimella, koska kyseiset laitteet ovat erittäin häiriöherkkiä. (Tiainen 2007, 54 - 55.)

Verkkomaisessa maadoitusjärjestelmässä rakennetaan tiheä maadoitusverkko. Verkkoon voidaan yhdistää laitteita eri pisteisiin, jolloin laitteiden välinen impedanssi jää mahdollisimman pieneksi. Verkkomaista rakennetta käytetään, kun halutaan suojautua suurtaajuisilta häiriöiltä. Verkon ollessa tiheä, ei sen silmukoihin pääse indusoitumaan häiriötä. Verkkomaista maadoitusta käytetään yleensä sähköasemilla, jossa ulkokytkinlaitokset ja valvomorakennuksen alle sijoitettu maadoitusverkko toimii maadoituselektrodina. (Tiainen 2007, 55 - 56.)

Yleisin käytössä oleva maadoitusjärjestelmä on sekajärjestelmä. Järjestelmä on luonteeltaan säteittäinen, mutta siihen liitetyt signaalijohdot ja johtavat rakenteet muodostavat silmukoita. Sekajärjestelmän maadoittaminen tapahtuu sähköverkon suojajohtimen kautta. Järjestelmä toimii hyvin, mikäli sähköjärjestelmä on TN-S- järjestelmä ja laitteiden häiriökyky on mitoitettu kyseiselle maadoitustavalle. (Tiainen 2007, 55.)

8.3 Suur- ja pienjännitejärjestelmän yhteinen maadoitus

Suur- ja pienjännitejärjestelmissä voidaan käyttää yhteistä maadoitusta, jossa pienjännitejärjestelmän tähtipiste tai PEN- johdin maadoitetaan suurjänniteverkon maadoitukseen. Yhteisen maadoituksen toteutumiselle SFS 6001 asettaa tietyt ehdot. Suurjänniteasennuksessa tapahtuvan maasulun aikana ei pienjännitejakeluverkossa tai siihen liitetyissä laitteissa saa esiintyä vaarallisia kosketusjännitteitä. Pienjännitteisissä laitteissa esiintyvä pienjännitejärjestelmän tähtipisteen potentiaalin noususta johtuva käyttötaajuuden rasitusjännitteen suuruus ei saa ylittää sallittuja arvoja. (SFS- Käsikirja 601, 76.) Käyttötaajuinen rasitusjännite ei tule määrääväksi tekijäksi tavanomaisilla jakeluverkon maadoitusten rakenteilla (Tiainen 2007, 76.)

Sähköturvallisuusmääräyksissä suurjännitepuolen suojamaadoittaminen ja pienjännitepuolen käyttömaadoittaminen on toteutettava yhteisellä maadoituselektrodilla, kun pienjännitejärjestelmä on kokonaan suurjännitelaitteiston sisällä. Muissa tapauksissa sähkölaitos saa itse päättää halutaanko suoja- ja käyttömaadoitukset pitää erillään vai yhdistää, normaalisti maadoitukset yhdistetään aina. (Elovaara & Laiho 1999, 432.)

8.4 Maadoitusresistanssi

Maadoitusresistanssilla R_E tarkoitetaan maahan upotetun maadoituselektrodin resistanssiarvoa. Maadoitusresistanssin arvolla kuvataan maadoituksen hyvyttä. Sen arvoon vaikuttavat maaperän resistiivisyys, maadoituselektrodin muoto ja pituus sekä johtimen sijoittelu maaperään. (SFS- Käsikirja 601, 101.)

Suomessa maan ominaisresistanssi on yleensä suuri, jonka takia myös maadoitusresistanssi arvo on suuri. Tämä on epäedullista maadoituksen kannalta, sillä mitä suurempi arvo maadoitusresistanssilla on, sitä huonompi ja vaarallisempi maadoitus on sähkölaitteiden ja ihmisten kannalta. (Elovaara & Laiho 1999, 416.)

Maadoituselektrodin resistansseja voidaan laskea riittävällä tarkkuudella, jos ympäröivän maan ominaisresistanssi on homogeeninen. Laskennassa käytetään yleensä valmiita yhtälöitä, jotka on määritetty tavallisimmin käytettyjen elektrodirakenteiden perusteella. Yhtälöt löytyvät taulukosta 1. (Elovaara & Laiho 1999, 416.)

Elektrodin laatu	Kaava	Huomautukset
Pallo pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{\pi D}$	
Levy pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{2D}$	$s \ll D$
Pystysuora tanko tai putki pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{4L}{1,36 \times d}$	$d \ll L$
Pystysuora tanko tai putki upotettuna	$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{4L}{1,36 \times d} \times \frac{2h+L}{4h+L}$	$d \ll L$
Vaakasuora johdin pinnassa	$R_E = \frac{\rho_E}{\pi L} \ln \frac{2L}{1,36 \times d}$	$d \ll L$
Vaakasuora johdin upotettuna	$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{1,85 \times h \times d}$	$d \ll 4h$
Verkko	$R_E = \frac{\rho_E}{2D} + \frac{\rho_E}{L}$	

TAULUKKO 1. Erityyppisten elektrodien maadoitusresistanssin laskentakaavoja (SFS- Käsikirja 601, 102).

Taulukon suuret tarkoittavat:

L = maadoituselektrodin pituus (m)

D = pallon, levyn tai verkon halkaisija (m)

d = köysimaadoituselektrodin halkaisija tai puolet nauhaelektrodin leveydestä (m)

s = levyelektrodin paksuus

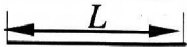
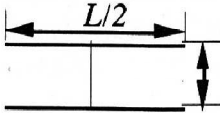

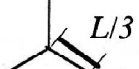

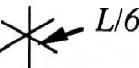


ρ_E = maaperän resistiivisyys (Ω m)

h = elektrodin upotussyvyys.

Yhtälöistä voidaan todeta, että maadoitusresistanssiin vaikuttavat maan ominaisresistanssin lisäksi mitat L ja D . Logaritmiyhtälöissä olevat tekijät vaikuttavat maadoitusresistanssiin vähemmän. Maadoituselektrodin upottaminen syvälle maahan pienentää maadoitusresistanssia. Upottamalla maadoituselektrodi syvälle maahan, voi maadoitusresistanssin arvo olla n. 50 % pienempi kuin vastaavan pinnalla olevan arvo. (Elovaara & Laiho 1999, 417.)

Maadoitusresistanssiin vaikuttavat maadoituselektrodin muoto ja rakenne. Maadoituselektrodia rakennettaessa, jos käytettävä on vain tietty määrä materiaalia, saadaan

paras maadoitusresistanssin arvo suoralla elektrodilla. Taulukossa 2 on esitetty maadoitusresistanssin suhteellinen kasvu verrattaessa erimuotoisten elektrodi rakenteita saman kokonaispituuden omaavaan suoraan johtimeen. (Elovaara & Laiho 1999, 418.)

$L / m =$	20	60	200	500
Elektrodin muoto	Maadoitusresistanssin suhde suoran johtimen maadoitusresistanssiin %			
	100	100	100	100
	133 109 92	144 123 96	155 135 109	159 143 119
	103	103	102	102
	107	106	106	105
	116	115	114	112
	136	135	132	129
	159	158	154	148
	109	108	107	106

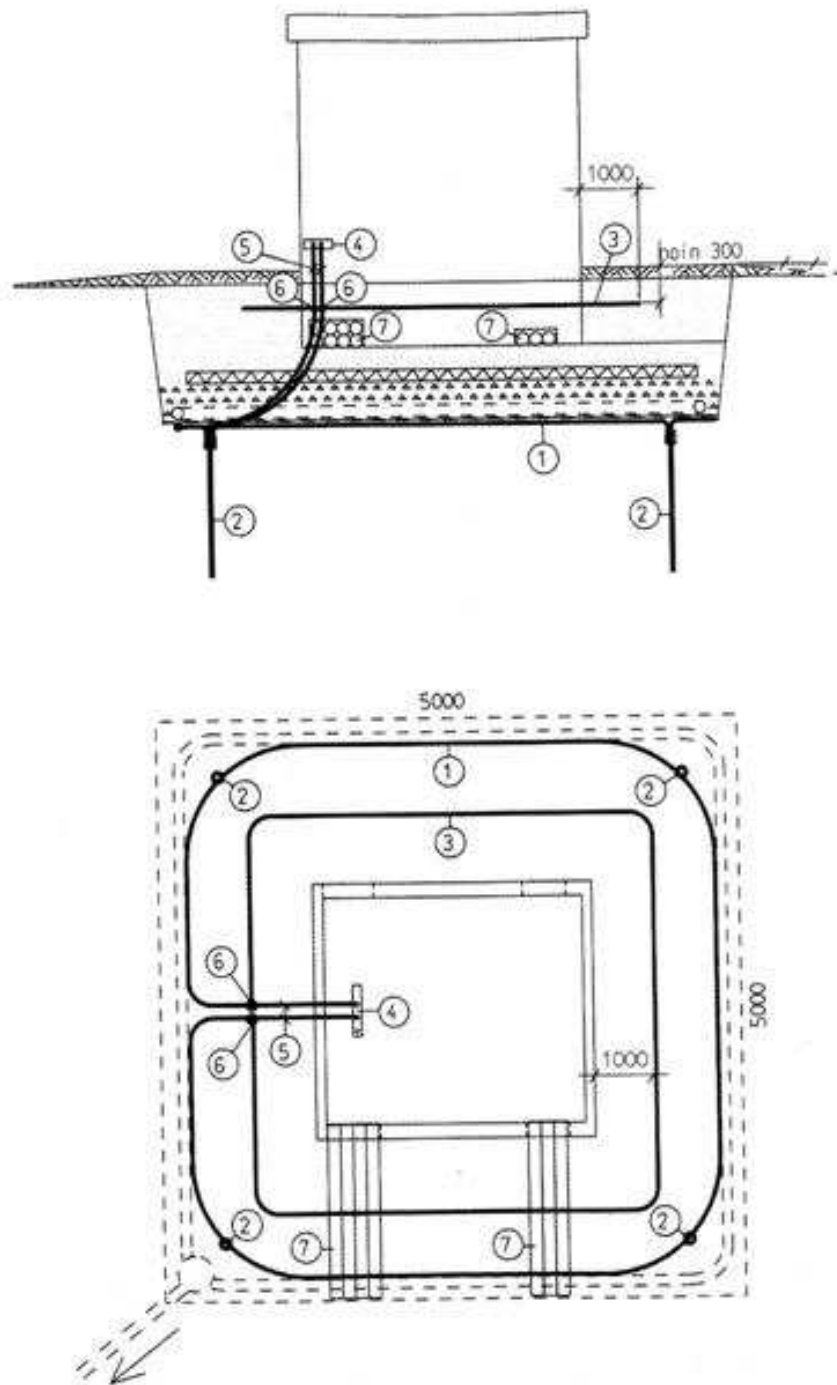
TAULUKKO 2. Maadoitusresistanssin suhde suoran johtimen maadoitusresistanssiin (Aura & Tonteri 1993, 194).

Taulukosta 2 voidaan todeta, että suoralla johtimella saavutetaan pienin maadoitusresistanssi melkein kaikilla johdin pituuksilla. Ainoastaan kahden rinnakkaisen maadoituselektrodin käytössä on maadoitusresistanssi pienempi, kun käytetään johtimien välisenä etäisyytenä 20 metriä. Pienentynyt maadoitusresistanssin arvo menetetään kuitenkin siirryttäessä pitemmille johtimille. (Elovaara & Laiho 1999, 418.)

8.5 Puistomuuntamon maadoituselektrodi

Puistomuuntamolle rakennetaan aina maadoituselektrodi ja tarpeen mukaan maadoitusta parannetaan kaapeliojiin ja jakokaapeille asennettavilla maadoituselektrodeilla. Maadoituselektrodi rakennetaan kupariköydestä joka on paksuudeltaan 25 mm^2 . Maadoituselektrodi asennetaan perustuksen pohjalle, ja sitä voidaan tarvittaessa parantaa syvämaadoituksin. Järjestelmä rakennetaan ehjäksi lenkiksi, jolloin sen eheiden pysyy tarpeen vaatiessa toteamaan mittauksella. (Tiainen 2007, 90.) Maadoituselektrodista rakennetut renkaan päät yhdistetään toisiinsa liittimellä ja päät nostetaan ylös puistomuuntamon rungossa kiinni olevaan maadoituskiskoon (Verkoston vakiorakenteet).

Potentiaalinohjauselektrodi asennetaan maahan noin 300 mm syvyyteen maan pinnasta ja metrin etäisyydelle puistomuuntamon ulkoseinästä. Potentiaalinohjauselektrodin rakentaminen ei ole välttämätöntä jos maadoitusimpedanssi täyttää ehdon $U_E = 2 * U_{TP}$. Yleensä potentiaalinohjausrenkas tehdään, koska ei tiedetä täyttääkö maadoitusimpedanssi asetetun ehdon. Potentiaalinohjauksen rakennetaan 25 mm^2 kupariköydestä. (Tiainen 2007, 90.) Potentiaalinohjausrenkaan päät liitetään toisiinsa ja päät nostetaan ylös muuntamon yhteiseen maadoituskiskoon (Verkoston vakiorakenteet). Kuvassa 10 on esitetty puistomuuntamon periaatteellinen maadoituskuva.



KUVA 10. Puistomuuntamon maadoitus (Tiainen 2007, 91).

Kuvassa olevien numeroiden merkitys:

1 = Maadoituselektrodi Cu 25

2 = Pystymaadoitus

3 = Potentialinohjauselektrodi Cu 25

4 = Muuntamon maadoituskisko

5 = Maadoitusjohtimet Cu 25

6 = Potentiaalihjauksen liitos

7 = Kaapeliputkitus

9 KAAPELOINTI

Kaapelin ja johtimien valintaan vaikuttavat useat tekijät. Pääpaino on kuitenkin valittavan kaapelin taloudellisuudella ja kuormitettavuudella. Lisäksi on kiinnitettävä huomiota asennuspaikan asettamiin mekaanisiin vaatimuksiin, sekä korroosiokestoisuuteen. Kaapelia valittaessa on osattava ennustaa kulutuksen kasvu ja sen mukana tuleva oikosulkuvirran kasvuennusteet. Huomioon on otettava myös jännitteenalenema ja oikosulkukestoisuus. Kaapelikokoja on olemassa useita, joten sähköyhtiön ei ole järkevää käyttää kaikkia mahdollisia käytössä olevia kaapelikokoja. Varastoinnin ja taloudellisuuden kannalta on edullista pitää tiettyjä standardoituja kaapelikokoja, joita käytetään. (Elovaara & Laiho 1999, 379.)

9.1 Kaapeloinnin hyödyt ja haitat

Maakaapeloinnin suurimpana etuna saavutetaan ilmastollisista syistä johtuvien häiriöiden välttäminen. Ilmajohdon päälle kaatuva puu aiheuttaa keskeytyksen jakelussa, mutta maakaapelia käytettäessä ei kyseistä ongelmaa ole. Suurin osa asiakkaille johtuvista keskeytyksistä johtuu ilmastollisista syistä, jotka pystytään maakaapeloinnilla avulla estämään. Maakaapelilla voidaan välttyä vanhojen johtokatuja aiheuttamia näköhaittoja. Kaapelin käyttö mahdollistaa kaupungeissa ja taajamissa sähköjakelun, koska tilaa vieviä johtokatuja ei voida kaupunkiin rakentaa. Taajama-alueelle rakennettaessa keskijännite avojohtoa ei voida usein rakentaa, koska turvallisuusmääräysten vaatimat turvaetäisyydet eivät täyty. (Lakervi & Partanen 2009, 161.)

Haittana maakaapeloinnilla on sen korkeampi asennuskustannus, kuin ilmajohdolla. Kaapelin vaihejohtimet joudutaan eristämään koko johdon pituudelta kiinteällä eristysaineella, kun taas ilmajohdossa eristeenä toimii ilma. Kaapeliverkon uudistaminen ja kaapelin siirtäminen muualle, on usein kannattamatonta korkeiden kaivauskustannuksien takia. Kaapeliverkon vian paikallistaminen ja korjaaminen on hitaampaa kuin ilmajohtoverkossa. (Lakervi 1996, 58.)

9.2 Valitut kaapelit

Keskijänniteverkon kaapeliksi valittiin AHXAMK-W 3*120 mm²- kaapeli. Kaapeli koostuu kolmesta alumiinijohtimisesta PEX- eristeisestä yksijohdinkaapelista. Kaapelin kosteussuojana on alumiinimuovilaminaatti. Kuparisen keskusköyden ympärille on kerrattu yhteen kolme yksittäistä vaihetta. AHXAMK - W- kaapeli on vesitiivis ja soveltuu maa-, kanava- ja hyllyasennuksiin. Kaapelia voidaan asentaa jopa -20 °C lämpötilassa. Asennettaessa tulee ottaa huomioon kaapelin keskusköysi, joka on kaapelin toiminnan kannalta oleellisen tärkeä vikavirtojen kulkutie. Keskusköysi tulee pitää kosketuksissa kaapelin vaiheisiin aina päätteisiin asti. Keskusköysi on yhdistettävä maadoitukseen välittömästi päätteiden läheisyydessä samassa kennossa. (Ylinen 2006, 45.) Pienjänniteverkon kaapeliksi valittiin AXMK 4* 185mm².

9.3 Kaapelipäätteet ja niiden maadoittaminen

Kaapelipäätteen tehtävänä on liittää eristetyt johtimet näkyvissä oleviin liittimiin. Kaapelinpäätteitä koskevat samat asetukset kuin itse kaapeleitaakin. Päätteiden tulee kestää kuormitusvirran, oikosulkuvirran ja mahdollisten ylijännitteiden aiheuttamat rasitukset. Erityisen haasteen kaapelipäätteille asettaa ympäristö. Ympäristön rasitteita ovat mekaaniset rasitukset, kosteus ja joissakin tapauksissa syövyttävät aineet. Kaapelilta vaadittavat mekaaninen tai sähkömekaaninen suojakerros on myös täyttyttävä kaapelipäätteeltä. (Elovaara & Laiho 1999, 380 - 381.)

Kaapelipäätteitä tehtäessä on huomioitava, että metallivaipan ja hohtosuojauksen reunassa sähkökentän voimakkuus nousee suureksi verrattaessa homogeenisen kaapelin sähkökenttään. Joissakin tapauksissa voidaan sähkökentän jakautuma tasata keinotekoisesti. Käytettäviä keinoja ovat eristyspaksuuden suurentaminen ja muotoilu kelaksi. Eristysrakenteen muuttamista käytetään jännitealueella 10kV - 45kV. Toisena keinona voidaan eristemassaan lisätä sylinterimäisiä metallikalvoja, joilla saadaan aikaiseksi kapasitiivinen ohjaus. Kapasitiivista sähkökentän ohjausta käytetään suurilla jännitteillä 110kV - 500kV. 10kV - 20 kV jännitealueella sähkökentänohjaukseen käytetään resistiivistä ohjausta. Kyseisessä ohjauksessa hohtosuojauksen katkaisukohdasta lähtien kierretään kaapeliin eristyksen päälle puolijohtavaa nauhaa. (Elovaara & Laiho 1999, 381.)

Päätteen rakenne määräytyy asennettavan kaapelin jännitteestä, kaapelityypistä ja asennuspaikasta. Erilaisia kaapelipäätteitä ovat kutistemuovipääte, kylmäkutistepääte ja kulmapistokepääte. (Elovaara & Laiho 1999, 381.) Kutistemuovipäätteen maadoitusliittimen päälle kutistetun johtavan letkun päälle kutistetaan runkoletku. Runkoletkun sisäpinnalla on kentänohjauspinnoite ja runkoletkun kutistaminen tapahtuu kuumentamalla letkua. Rakentamiseen liittyy valmistajan määräämiä erilaisia tiivistemasoja ja tiivisteteppejä. Ulkoasennuksissa pintavirtakestoisuutta parannetaan lisäämällä eristäviä laippoja päätteen pinnalle. Kylmäkutistepäätteessä on yhtenäinen runkorakenne, joka vedetään liukastetun kaapelin ja maadoitusliittimen päälle. Lopuksi pääte puristetaan kaapelin päälle lämmittämällä. Täysin kosketussuojattujen SF_6 kojeistolla varustettujen muuntamoiden yleistyessä, on pistokepäätteiden käyttö lisääntynyt. Pistokepäätteellä varustettu kaapeli liitetään suoraan kojeeseen tai jakelumuuntajaan. (Ylinen 2006, 46.)

9.4 Kaapelointimenetelmät

Nykyään kaapelointi suoritetaan pääsääntöisesti joko auraamalla kaapeli suoraan maahan, tai kaivamalla ensin kaapelioja johon kaapeli laitetaan. Auraus on käytettävistä olevista keinoista nopein ja edullisin. Aurausta ei voida kuitenkaan suorittaa paikoissa joissa maaperä on kallioista tai louhikkoista. Myöskään kestopäällysteiseen tiehen auraamista ei voida käyttää. Kaapeliojan kaivaminen tulee kyseeseen silloin, kun kaapelointia ei voida toteuttaa auraamalla. Kallio- osuuksiin on käytettävä kallion louhintaa tai kaapelin betonointia kallioon. (Romo 2010.)

Kaapelin aurauksessa maahan leikataan viilto. Aurauslaitteella tehdessä viiltoa maahan asennetaan syntyvään uraan samanaikaisesti kaapeli. Aurauslaite on normaalisti kytketty kaivinkoneeseen tai traktoriin. Aurauksen etuna on sen nopeus ja siisteys. Aurauksen jälkeen maahan ei jää juurikaan työn jälkiä. Aurauksessa käytetään usein kaapelireitin esiaurausta, jossa reitti aurataan läpi ilman kaapelia. Tällä pystytään varmistamaan maaperän laatu ja ennalta ehkäisemään aurattavan kaapelin osumista kiveen. Kiveen osuttaessa joudutaan kaapeli poistamaan aurasta, joka aiheuttaa lisätyötä. Kaapeli pyritään auraamaan noin 70-80 cm syvyyteen. Normaalisti aurattavana kaapelin maksimikokona pidetään 185 mm^2 kaapelia. Auraamiseen vaikuttavia tekijöitä ovat ilman lämpötila ja maaperä. Kesällä lämpötilan ollessa korkea kaapelin pinta vioittuu helposti ja talvella kaapelin ollessa kylmä tulee siitä erittäin jäykkä. Mutainen

ja märkä maa aiheuttaa auraamiselle omat haasteet. Maan ollessa liukas ei voida kaapelointi suorittaa, koska auraava kone ei pysy paikoillaan. (Romo 2010.)

Kaapelionnissa käytetään kahta erilaista auraa, staattinen ja täryttävä aura. Täryttävässä aurassa tärinäliike on joko pystysuuntaista tai ympyränmuotoista. Liikkeen värähtelytaajuus on noin 1100-2300 tärähdystä minuutissa. Tärytykseen käytettävän vetolaitteen tehovaatimus on pienempi kuin staattisen auran. Tärinä synnyttää leikkaavan liikkeen joka saa maakerrosten hienojakoisen maan siirtymään auran tieltä. Auran tärinä edesauttaa kaapelin kulkemista auran putken lävitse. Kaapeliin kohdistuva vetojännitys saadaan näin ollen pieneneväksi. (Romo 2010.)

Kaapeliojan tekeminen suoritetaan yksinkertaisesti kaivamalla kaivurilla kaapelille oja johon kaapeli asennetaan. Ojaan asentamisen etuina on asennussyvyyden helppo varmistaminen. Lisäksi ojaan on helppo rakentaa hiekkapeti kaapeleiden vioittumisen ehkäisemiseksi. (Romo 2010.)

10 VAROKKEET JA SELEKTIVISYYS

Johtojen, sähkölaitteiden ja pienehköjen muuntajien oikosulku- ja ylikuormitussuojina käytetään varokkeita. Varokkeita käytetään silloin, kun katkaisijoiden ja ohjaavan releen käyttö oikosulkusuojana ei tule taloudellisista syistä kysymykseen. Varokkeiden käyttöalueena ovat jännitteet 500 V:iin asti ja nimellisvirrat 800 A:iin asti. (Elovaara & Laiho 1999, 291.)

Varoke koostuu varokepesästä ja vaihdettavissa olevasta sulakkeesta. Sulakkeeseen on sijoitettu sulakelanka, jonka kautta suojattavan virtapiirin virta kulkee. Ylivirta saa sulakelangan kuumenemaan sulamispisteeseen saakka, jolloin lanka höyrystyy ja katkaisee virtapiirin. Katkaisukyvyyn lisäämiseksi sulalangan ympärille sijoitetaan valo-kaaren sammumista edistävää sammutusainetta. (Elovaara & Laiho 1999, 291.)

Valokaaren sammumistavan perusteella voidaan sulakkeet jakaa nollakohtasulakkeisiin ja virtaa rajoittaviin sulakkeisiin. Nollakohtasulakkeissa kehittyy ylivirran vaikutuksesta syntyneeseen sulakelankahöyrypatsaaseen valokaari, joka voi sammua vasta virran ensimmäisessä nollakohdassa. Nollakohtasulaketta ei voi käyttää tasavirran

katkaisuun. Virtaa rajoittavassa sulakkeessa sulakelangasta muodostunutta höyrypatsasta jäähdytetään ympäröivän väliaineen avulla niin tehokkaasti, että valokaarta ei pääse syntymään. Höyrypatsaan vastus pysyy suurena, jonka takia virta alkaa pienentyä ja lopulta katkeaa. (Elovaara & Laiho 1999, 291.)

Rakenteen puolesta sulakkeet jaetaan tulppavarokkeisiin, kahvavarokkeisiin ja putkivarokkeisiin. Tulppavarokkeita käytetään pienjänniteverkoissa. Niitä valmistetaan aina 500V jännitteelle asti ja suurin käytettävä nimellisvirta on 200A. Kahvavarokkeita käytetään myös pienjänniteverkoissa, mutta tulppavarokkeisiin verrattaessa ovat niiden nimellisvirrat suurempia. Kahvavarokkeiden nimellisvirta ulottuu aina 6 A 800 A asti. Putkivarokkeita käytetään suurjänniteverkoissa ja niiden suurimmat nimellisvirrat ovat 100 - 200 A suuruusluokkaa. (Elovaara & Laiho 1999, 291 - 293.) Kohteeseen valittiin Ferrazin suurjännitesulkeet, joissa U_n 10/24 kV ja I_n 40 A.

Varokkeiden selektiivisellä toiminnalla tarkoitetaan sitä, että ainoastaan vikakohtaa lähinnä oleva varolaite toimii. Näin saadaan rajattua käyttöhäiriö mahdollisimman pienelle alueelle. Selektiivisyyden edellytyksenä on, etteivät perättäisten suojalaitteiden laukaisukäyrät, hajonta-alueet huomioon otettuna, leikkaa toisiaan. Käytännön kokemuksen mukaan voidaan todeta, että peräkkäiset virtaa rajoittavat nopeat sulakkeet toimivat riittävän selektiivisesti, kun suuremman sulakkeen nimellisvirta on kaksi porrasta suurempi, kuin pienemmän sulakkeen nimellisvirta. Samavirtaiset hidas ja nopea sulake ovat selektiivisiä, kun hidas sulake on tehontulosuunnasta katsottuna ensimmäisenä. Päinvastaisessa tapauksessa tulee sulakkeiden välinen ero olla vähintään kolme porrasta. (Pöyhönen 1975, 505.)

11 KÄYTTÖÖNOTTO

Projektin viivästymisen takia työtä rajattiin vaiheeseen, jossa muuntamo otettiin käyttöön 20 kV osalta. Puistomuuntamon käyttöönottotarkastuksessa suoritettiin käyttöönottopöytäkirjan (liite 2) mukaiset tarkastukset. Aluksi suoritettiin silmämääräiset tarkastukset, joiden avulla varmistettiin muuntamon oikeaoppinen rakentaminen. Silmämääräisen tarkastuksen perusteella ei havaittu mitään puutteita. Liitteessä 2, nähdään muuntajan mitatut jännitteet: L1-L2, L1-L3, L2-L3 ja L1-PEN.

Liitteessä neljä olevassa tarkastuspöytäkirjassa on suoritettu keskijännitejohdon käyttöönottotarkastus. Tarkastuksessa suoritetaan aluksi silmämääräinen tarkastelu, jonka jälkeen kaapelille tehdään eristysvastusmittaus. Liitteessä kolme olevaan tarkastuspöytäkirjaan on suoritettu pienjännitekaapelin käyttöönotto, eristysvastusmittauksen lisäksi on suoritettu oikosulkuvirtamittaukset.

Liitteessä viisi on jännitetyö tarkastuspöytäkirja. Muuntamoja sähköistettäessä maa-kaapeli liitettiin 20kV:n ilmajohtoverkkoon jännitetyönä.

12 PURKUTYÖ

Sähköasentajien työmenetelmien kehittämisprojekti Sätke- opas tehtiin, koska haluttiin kehittää turvallisempia ja vähemmän kuormittavia työmenetelmiä energia-alan yritysten sähköasentajille. Aikaisemmin ilmajohdon purkutyöt toteutettiin ilman asiaan kuuluvaa purkutyö suunnitelmaa ja standardia. Huomattiin, että purkutöihin liittyvät riskit olivat erilaisia kuin rakentamistyössä. Työturvallisuuden parantamiseksi valmistettiin verkostosuositus TJ1:04 ” Ilmajohdon purkutyöt”. (Ilmajohdon purkutyöt.)

12.1 Purkutyön aloitus

Ilmajohdon purkutyön toteutus tehdään purkutyösuunnitelman mukaisesti. Purkutyösuunnitelma on laadittu toimimaan pohjana purkutyölle, ja samanaikaisesti se toimii turvallisuus asiakirjana. Purkutyö alkaa perehdyttämällä työryhmä työkohteeseen. Perehdytykseen ottaa osaa kaikki työhön osallistuvat henkilöt, myös kaivinkonekuljettajat. Perehdytyksessä käydään läpi aikaisemmin laadittu purkutyö suunnitelma, työmenetelmät ja työhön mahdollisesti liittyvät riskit. (Puupylväiden purkutyö.)

12.2 Purkutyön turvallisuus

Purkutyötä tehtäessä on aina purettava johto maadoitettava turvallisuus standardi SFS 6002 mukaisesti. Mikäli vaarana on ilmastollisen tai indusoituneen jännitteen mahdollisuus, on käytettävä lisätyömaadoitusta. Kaikki johdot, jotka risteävät purettavasta

johdosta, on tehtävä jännitteettömäksi ja maadoitettava. Risteävänä johtona voi olla AMKA- johdin joka on myös tehtävä jännitteettömäksi. (Puupylväiden purkutyö.)

Sähköturvallisuuden lisäksi on otettava huomioon ulkopuolisten ihmisten turvallisuus. Purkutyön sattuessa liikennöidylle alueelle on liikenteenjärjestelyyn ja ohjaamiseen käytettävä koulutettuja ihmisiä, jotka pysäyttävät liikenteen tarvittavaksi ajaksi. Maanomistajien ja taajama-alueilla tontin omistajien maalla tehtävissä purkutöissä on asianomaisia varoitettava työn aiheuttamista vaaroista. Muissa työkohteissa ulkopuolisten pääsy purkualueelle on estettävä merkinnöin ja vartioinnin avulla. (Puupylväiden purkutyö.)

12.3 Purkutyömenetelmät

Purkutyömenetelmiä on olemassa useita eri vaihtoehtoja, mutta ensisijaisena keinona käytetään johtimien purkamista maasta käsin. Siinä pylväät kaadetaan ensin maahan, jonka jälkeen voidaan turvallisesti irrottaa johtimet. Henkilönostokorista voidaan johtimet ja rakenteet purkaa ennen pylvään kaatamista, mikäli tapaus niin vaatii. Nostokorissa työskennellessä on muistettava aina käyttää putoamissuojaimia. Irrotettua johdinta ei tiputeta nostokorista, vaan se lasketaan hallitusti maahan köyden avulla. (Puupylväiden purkutyö.)

Pylvääseen kiipeämistä harkitaan silloin, kun muiden mahdollisuuksien käyttö on mahdotonta. Ennen kiipeämistä on varmistettava huolellisesti pylväsrakenteen, harusten ja pylvään kunto, sekä pylvään riittävä upotussyvyys. Purettava pylväs on tuettava ennen kiipeämistä. Pylväs voidaan tukea harustamalla se vähintään kolmesta suunnasta köysien avulla. Pylväs tuetaan kaivurilla, tyvi tuetaan kaivurin kauhassa olevalla kouralla ja mahdollisimman ylhäältä pylväspitimellä. Pylvääseen nouseminen on unohdettava, jos on olemassa pienikin epäily pylvään rakenteen kestämisestä. Johtimien irrottaminen voi vapauttaa pylvään jännityksen ja pahimmassa tapauksessa lahonnut pylväs voi katketa harusten tai tikankolojen kohdalta. (Puupylväiden purkutyö.)

Pylvään kaataminen tehdään yleensä kaivurin avulla hallitusti. Kaivurin kauhassa olevalla kouralla saadaan pylväästä tukeva ote ja se voidaan laskea maahan. Kaivurin työskennellessä pylvään äärellä on oltava erityisen varovainen. Asentajan mennessä

katkaisemaan maadoituksen renkaan tai harusten vaijerin on pidettävä huoli, että kaivinkoneen kuljettaja näkee asentajan. Myös pylvästä kaadettaessa on varmistettava, että ketään ei ole alla. Tapauksissa, joissa ei voida käyttää kaivuria pylvään kaatamiseen, voidaan pylväs sahata poikki. Pylväs katkaistaan maasta noin 70 cm korkeudesta, jotta kaivuri saa nostettua tyven pois maasta. Pylvästä kaataessa tulee varmistaa pylvään kaatuminen haluttuun suuntaan ja varmistettava että kaadettavan pylvään alla ei ole ketään. Kaadetusta pylvästä puretaan johtimet ja rakenteet maassa. (Puupylväiden purkutyö.)

Pylväsmuuntamoja purkaessa nousee nostokorilla ylös purkamaan johtimet irti. Muuntajan arvokilvessä lukee muuntajan kokonaispaino, joka tulee ottaa huomioon muuntajaa pois nostettaessa. Nosturin nostokyky tulee olla riittävä muuntajan nostoon. Muuntaja voidaan nostaa sen kannessa olevista lenkeistä. Mahdollisen öljyvuodon sattuessa on muuntajan alla käytettävä öljynkeräysastia tai imeytysmattoa. Muuntaja on kiinnitettävä luotettavasti pois kuljetuksen ajaksi. Pylväsmuuntamon purkamiseen voidaan käyttää myös viereen asetettua ja kaivurilla tuettua pylvästä, johon voidaan kiivetä. Tuetusta pylvästä voidaan turvallisesti purkaa pylväsmuuntamon johtimet. Tällaista menetelmää voidaan käyttää myös purettaessa erotinpylväitä, muita erikoisrakenteita tai vaihdettaessa uutta pylvästä tilalle. Yhteiskäyttö pylväiden johtoja purettaessa käytetään tuettua viereen asetettua pylvästä. Silloin voidaan purkaa helposti kiipeämällä tuettuun pylvääseen yhteiskäyttö pylvään sähköjohdot ja jättää muut johdot. (Puupylväiden purkutyö.)

Puretut johtimet kelataan maastosta rullalle. Johdinta kelattaessa on varottava käsien joutumista kelausrummun väliin ja kelauskone on voitava pysäyttää nopeasti. Kelattaessa johdinta on varottava johtimen jatkoksia ja säie vikoja, jotka voivat aiheuttaa vahinkoa ihmiselle. Risteytyviä johtoja kelatessa kelaaminen voi aiheuttaa johtimiin hankautumisesta johtuvaa johdin eristysten vaurioitumista. Katkaisemalla kelattavat johtimet tai kannattamalla niitä risteyskohdista voidaan hankautuminen estää. (Puupylväiden purkutyö.)

Purkutöiden jälkeen on pidettävä huoli siitä, että maastoon ei jää mitään rakennustarvikkeita, sidelankoja, haruksia tai maadoituksia. Pylvään poiston jälkeen pylväskuopat täytetään ja koneen jäljet siistitään. Peltoalueella pylväiden tyvien kivet voidaan haudata maahan riittävän syvälle. Laattasilmukset poistetaan piha- ja peltoalueilta. Metsä-

alueilla laattasilmukset haudataan riittävän syvälle maahan. Puretut pylväävät hävitetään sovitun menetelmän mukaisesti. Ongelmajätteet kuten myrkkyyhatut ja tyvikääreet toimitetaan ongelmajätekeräykseen asianmukaisesti pakattuna. Lopuksi peltoalueet, pihat ja julkiset alueet siistitään erityisen hyvin. (Puupylväiden purkutyö.)

13 POHDINTA

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja haastava. Puistomuuntamon rakentaminen oli vieras aihe, joten työvaiheiden käynti teoriassa ja käytännössä oli erittäin opettavaista.

Projekti Rantakylän sähkönjakelun modernisoinnista lähti käyntiin vuoden 2010 syksyllä, samalla aloitin materiaalin keräämisen työhön. Kevään 2011 ankarien talviolosuhteiden vuoksi projekti viivästyi ja jouduin jättämään projektin vaiheeseen, jossa puistomuuntamo oli liitetty 20kV- jakelujärjestelmään. Lopetin työn vaiheessa, jossa puistomuuntamo otettiin käyttöön 20kv osalta. Myöhemmin keväällä 2011 puistomuuntamosta on tarkoitus ottaa pienjännitelähdöt käyttöön.

Lopputuloksena Mikkelin Rantakylään saatiin rakennettua sähkönjakelua parantava ja tulevaisuudessa kasvavan kulutuksen kestävä ratkaisu. Jatkona opinnäytetyölle voisi tarkastella investoinnin kannattavuutta ja kyseisen jakeluverkon elinkaaren todellisia odotettavissa olevia vuosia.

LÄHTEET

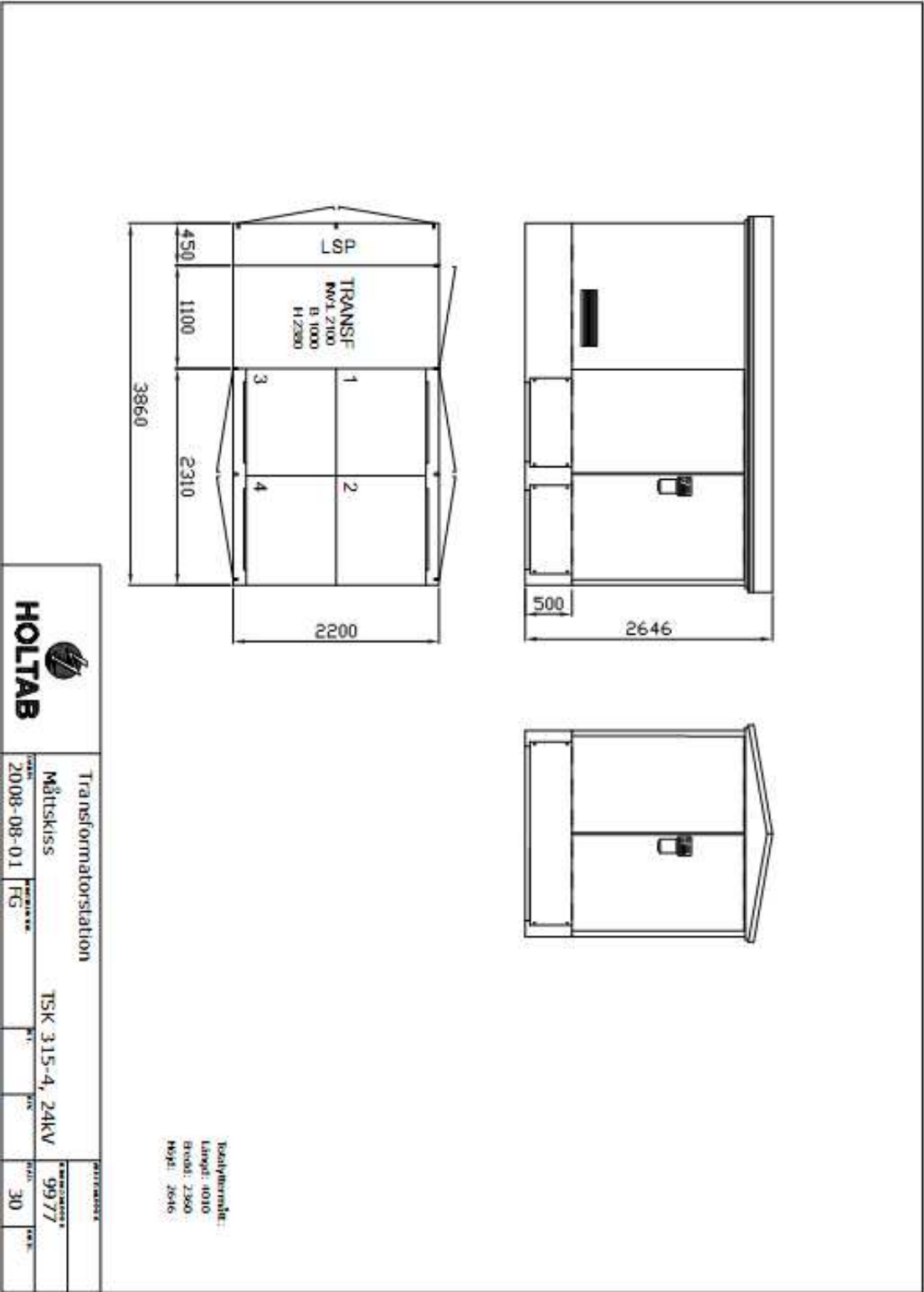
- Aro, M., Elovaara, J., Karttunen, M., Nousiainen, K. & Palva, V. 1996. Suurjännite-tekniikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Aura, L. & Tonteri, A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. 1. painos. Porvoo: WSOY.
- Aura, L. & Tonteri, A. 1993. Sähkölaitostekniikka. 1. painos. Porvoo: WSOY.
- Aura, L. & Tonteri, A. 1996. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. 2. painos. Porvoo: WSOY.
- Construction description. Holtab. Saatavissa: <http://www.holtab.se/1/1.0.1.0/11/2/>. [viitattu 10.1.2010].
- Elovaara, J. & Laiho, Y. 1999. Sähkölaitostekniikan perusteet. 4. painos. Helsinki: Otatiето.
- Ilmajohdon purkutyöt. Energiateollisuuden kotisivut. Saatavissa: http://www.energia.fi/fi/ajankohtaista/energiasanomat/2005/energiasanomat14_2005pdf.pdf. [viitattu 20.12.2010].
- Lakervi, E. & Partanen, J. 2009. Sähkönjakelutekniikka. 2. painos. Helsinki: Otatiето.
- Lakervi, E. 1996. Sähkönjakeluverkkojen suunnittelu. Helsinki: Otatiето.
- Monni, M. 1996. Sähkölaitosasennukset. 5. painos. Helsinki: Oy Edita Ab.
- Nikkari, J. 2009. Uusi elämä muuntajalle. Power&Automation-lehti 3/2009, s. 8 - 9.
- Pakkanen, A. 2011. Muuntajan arvokilpi. Valokuva. Mikkeli.
- Puupylväiden purkutyö. Headpower. Saatavissa: http://www.headpower.fi/images/flash/flash.asp?FLASH_UID=100081. [viitattu 10.1.2011].
- Pöyhönen, O. 1975. Sähkötekniikan käsikirja 1. 4. painos. Helsinki: Tammi.
- Romo, M. Haastattelu 8.11.2010. Mikkeli: Empower Oy.
- Ruppa, E. & Lilja, T. 2003. Sähkötekniikkaa sivuaineopiskelijoille. 3.painos. Tampere: Tammertekniikka Oy.
- SFS- Käsikirja 601. Suurjänniteasennukset ja ilmajohdot. 2009. 1. painos. Helsinki: SFS.
- Tiainen, E. 2007. Maadoituskirja. Helsinki: Painokurki Oy.
- Tiainen, E. 2004. Sähköasennustekniikka 3. 2. painos. Tampere: Tammer - Paino Oy.

Verkoston vakiorakenteet. Headpower. Työohje.

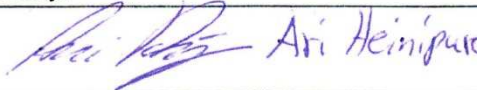
Yleistä. Empower. Saatavissa: <http://www.empower.fi/index.php?page=146&>. [viitattu 15.11.2010].

Ylinen, T. 2006. Sähköasennukset 2. 4. painos. Tampere: Tammer - Paino Oy.

Puistomuuntamon pohjarakenne



Puistomuuntamon käyttöönottotarkastuspöytäkirja

PUISTO- JA KIINTEISTÖMUUNTAMON KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUSPÖYTÄKIRJA TP05			
URAKOITSIJA OY			
Tarkastuskohde			
Työn nimi	Naistingintie 7 km 133		Tilaajan viite
Muuntopiirin nimi / n:o	— 1 —		Muuntopiirin osoite
Tarkastuskohteen työlaji			<input checked="" type="checkbox"/> 20 / 0,4 kV <input type="checkbox"/> 10 / 0,4 kV <input type="checkbox"/> MUU kV
Käyttöönottotarkastus toteutetaan KTM:n päätöksen 517/1996 edellyttämällä tavalla			
Rakentamisessa ja tarkastuksessa on käytetty seuraavia standardeja:			
<input checked="" type="checkbox"/> SFS 6000 <input checked="" type="checkbox"/> SFS 6001 <input checked="" type="checkbox"/> SFS 6002 <input checked="" type="checkbox"/> SFS 6003 <input checked="" type="checkbox"/> SFS-EN 50423 / 50341 <input type="checkbox"/> Muu: _____			
Turvallisuustasot saavutettu <input checked="" type="checkbox"/>			
Turvallisuustasoja ei saavutettu <input type="checkbox"/>			
Tarkastuksen suorittaja			
Allekirjoitus			Pvm. 18.3.2011
Selvitys			
TARKASTUSMERKINNÄT X Kunnossa – Ei kunnossa O Ei kuulu rakenteeseen			
A Yleistä	Vian tai puutteen kuvaus	Korj. pvm.	Nimi
1	Kulkureitit, reittiavain	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Laitteiden ominaisarvot	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Vähimmäisetäisyydet	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Kaaviot	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Dokumentointi / muutokset	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	Käyttö- ja huolto-ohjeet / Valmist. ohjeet	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	Johdinliitokset, liittimet, kiristykset	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	Asetusarvot	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	Muuntamon ja laitteiden tunnuksot	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	Hengenvaara -kilvet	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	Ovet ja ovien lukitus	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	Muuntamokoppi / muuntamotila	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	Valaistus	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	Akusto / akuston ilmastointi	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	Ilmastointi / ilmanvaihto	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	Työmaadoitusten liitännäkohdat	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	Sijainti ja turvallisuus	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	Kaivujäljet, pinnoitteet	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	Työkohteen siisteys	<input checked="" type="checkbox"/>	
B Keskijännitelaitteet	Vian tai puutteen kuvaus	Korj. pvm.	Nimi
1	Kj-kojeistot	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Kaap.päätteet ja kiinnitykset	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Ylijännitesuojat	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Kaap.taivutussäteet ja läpiviennit	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Tukieristimet	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	Eroottimet	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	Katkaisijat	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	SF6 kaasunpaine	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	SF6 jännitteenilmais / testaus	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	Sulakkeet / sulaketoiminnan testaus	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	Kj -lähtöjen merkinnät	<input checked="" type="checkbox"/>	

Puistomuuntamon käyttöönottotarkastuspöytäkirja

C Muuntaja		Vian tai puutteen kuvaus				Korj. pvm.	Nimi					
1	Muuntajan runko, öljysäiliö	<input checked="" type="checkbox"/>										
2	Muunt. välitalto-yhtymän asento (naim. 3)	<input checked="" type="checkbox"/>	4									
3	Muunt. välitalto, portaiden kor. (naim. 5)	<input checked="" type="checkbox"/>	5									
4	Muuntajan ensiläiset	<input checked="" type="checkbox"/>										
5	Öljyvuodot	<input checked="" type="checkbox"/>										
6	Ominaisluokat	<input checked="" type="checkbox"/>										
7	Muuntajan sarjanumero	<input checked="" type="checkbox"/>	5761005									
8	Lämoottorit	<input checked="" type="checkbox"/>										
D Pienjännitelaitteet		Vian tai puutteen kuvaus				Korj. pvm.	Nimi					
1	PJ-keskus	<input checked="" type="checkbox"/>										
2	PJ-keskuksen syöttömodulit	<input checked="" type="checkbox"/>										
3	Kaapeliähdöt ja varokkytkimet	<input checked="" type="checkbox"/>										
4	Kaapeli- ja varokkytkimien kiinnit.	<input checked="" type="checkbox"/>										
5	PJ-säikkö	<input checked="" type="checkbox"/>										
6	Virtamuuntajat	<input checked="" type="checkbox"/>										
7	Mittarit	<input checked="" type="checkbox"/>										
E Turvavälineet		Vian tai puutteen kuvaus				Korj. pvm.	Nimi					
1	Ensileikkurit	<input checked="" type="checkbox"/>										
2	Valitiedot ja silmäkäsittelyvarusteet	<input checked="" type="checkbox"/>										
3	Työskentelykujat	<input checked="" type="checkbox"/>										
4	Työmaavaroituslaitteet	<input checked="" type="checkbox"/>										
5	Jännitteenvaroitimet	<input checked="" type="checkbox"/>										
6	Muut työ- ja turvavälineet	<input checked="" type="checkbox"/>										
F Maadoitukset		Vian tai puutteen kuvaus				Korj. pvm.	Nimi					
1	K-kojelaajan maadoitus	<input checked="" type="checkbox"/>										
2	Muuntajan runko	<input checked="" type="checkbox"/>										
3	PJ-keskuksen maadoitus	<input checked="" type="checkbox"/>										
4	Maadoituslaajan maadoitus	<input checked="" type="checkbox"/>										
5	PEN-maadoitus	<input checked="" type="checkbox"/>										
6	Potentiaalintasausrenkaat	<input checked="" type="checkbox"/>										
7	Maadoituslaitteet	<input checked="" type="checkbox"/>										
8	Maadoitusjohtimet / liitokset	<input checked="" type="checkbox"/>										
G Mittaukset												
1	Vmm	<input checked="" type="checkbox"/>	LT		A	L2		A	L3		A	
2a	Väkiläisyydet	<input checked="" type="checkbox"/>	in / out		in / out		in / out		in / out		in / out	
2b	Laukaisusika	<input checked="" type="checkbox"/>	in / out		in / out		in / out		in / out		in / out	
3	Suoja- ja PEN-ohjelmien jatkuvuus	<input checked="" type="checkbox"/>			Q							
4	Laajan maadoitusverkon jatkuvuus	<input checked="" type="checkbox"/>			Q							
5	Potentiaalintasausrenkaan jatkuvuus	<input checked="" type="checkbox"/>			Q							
6	Muuntajan T _{amb} °C	<input checked="" type="checkbox"/>			°C							
7	Jännitteen / V	<input checked="" type="checkbox"/>	L1-L2	415	L1-L3	416	L2-L3	414	L1-PEN	279	V	
8	Maadoitukset	<input checked="" type="checkbox"/>	Yhteis.		Q	PEN		Q	S		Q	
9	Ensivaroitus	<input checked="" type="checkbox"/>			MD							
10	Kierrosuunta ja vaihteisuus	<input checked="" type="checkbox"/>	R 2 vaihteisuus OK									
Mittalaitteen tyyppi						Mittalaitteen numero						
Huomautukset, lisäselvitykset, poikkeamat suunnitelmista yms.												
w Kehä G9 mittaukset tehty PJ-kaapelin käyttöönottotarkastuspöytäkirjasta												

[illegible]

KJ- kaapelin käyttöönottotarkastuspöytäkirja

KJ - KAAPELIN JA HAAR.KAAPIN KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUSPÖYTÄKIRJA TP032			
URAKOITSJA OY <i>Naistingintie 7</i>			
Tarkastuskohde			
Työn nimi	<i>Alapeltola MYO 133</i>	Tilaajan nimi	
Julkaisun osuile		Johtokäsi / sähköasennus	
Kohde-työt		<input checked="" type="checkbox"/> 20 kv <input type="checkbox"/> Muu kv	
Käyttöönottotarkastus toteutetaan KTM:n päätöksen 5.17.1996 edellyttämällä tavalla			
Rakennuskohteeseen on noudatettu suunnitelma-asiakirjoja sekä seuraavia standardeja:			
<input type="checkbox"/> SFS 6000 <input checked="" type="checkbox"/> SFS 6001 <input checked="" type="checkbox"/> SFS 6002 <input type="checkbox"/> SFS 6003 <input checked="" type="checkbox"/> SFS EN 50423 / 50424 <input type="checkbox"/> Muu			
Turvallisuustasot saavutettu <input checked="" type="checkbox"/>			
Turvallisuustaso ei saavutettu <input type="checkbox"/>			
Tarkastuksen suorittaja			
Alempuus	<i>Ari Heimgren</i>	Pvm.	<i>16.3.2011</i>
Tarkastusmerkinnät X Kunnossa - Ei kunnossa O Ei kuulu rakenteeseen			
Mittaukset ja testaukset		Vian tai puutteen kuvaus	Korj. pvm.
1	Mittauspöytäkirja		
2	Suojareleet		
3	Kaapin jännitelasi		
4	Maadoitusjohdot jatkuvuus		
5	Haarakaapin putaus		
6	Kierrosuunta ja vaihteistus		
Kaapelin tarkastus		Vian tai puutteen kuvaus	Korj. pvm.
7	Kaapin vaippa		
8	Asennusalausta ja -syvyys		
9	Asennusolosuhteet		
10	Suojakourut ja -putket		
11	Merkitämauho tai-verkko		
12	Läpimennit		
13	Kaapelikiinnitykset		
14	Kaapelipäätteet ja liitokset		
15	Kaapelijalkokset		
16	Talutuslaitteet		
17	Kosketussuojat		
18	Kaapelin merkinnät		
19	Ylijännitesuojat		
20	Maadoitukset		
21	Mekaaninen suojaus		
22	Pylväskiinnityskannat		
23	Käiväläiset, pinnalliset		
24	Muut tarkastukset		
25	Muutokset dokumentointi		
Haarotuskaapin tarkastus		Vian tai puutteen kuvaus	Korj. pvm.
26	Haarotuskaapin asennus		
27	Kaapin maadoitukset		
28	Kaapin tunnusmerkinnät		
29	Hengenvarakirja		
30	Lukilukset		
31	Merkitämauho		
32	Käiväläiset, pinnalliset		
Huomautukset, lisäselvitykset, poikkeamat suunnitelmista yms.			

KJ- kaapelin käyttöönottotarkastuspöytäkirja

[illegible]

JÄNNITETYÖPÖYTÄKIRJA		Yhtiö: Empower Oy	LIITE 2
KYTKENTÄTYÖT 20 kV ILMAJOHDOT		Pvm. 1.2.2011	
TYÖN PÄIVÄYS JA KELLOAIKA:			
TYÖKOHTTEEN SIJAINTI:		Jokipolku	
TYÖN SISÄLTÖ:		20kv maakaapelipäätteen kytkentä verkkoon	
HENKILÖSTÖ:		Nimi:	Puhelin:
Työnjohtaja:		Mikko Romo	444 252 368
Työstä vastaava:		Ari Heinipuro	444 252 427
Turvallisuuksien valvoja:		Ari Heinipuro	444 252 427
Työryhmän jäsenet:		Ari Heinipuro, Lauri Airaksinen	444 252 427
Käytöstä vastaava:		Pasi Luukkonen	447 353 836
JÄNNITETYLUPA:		Myöntäjä: <i>[Signature]</i>	Päiväys: 3.2.2011
TYÖSTÄ VASTAAVAN TYÖLUPATARKASTUS:		Tekijä:	Päiväys:
Säätötila			
-Säätiedoituksen mukaan:			
-Työkohteesta ilmoitettu:			
Lämpötila			
Sade			
Ukkonen			
Myrsky			
Sumu			
Pakkaneen			
Muu säätölaeste			
Relesuojauksen käytössä ja herkistetty			
Jälkeenkytkennät poistettu			
Varoitusmerkinnät ja lukitukset kytkentälaitteissa			
Johtolähtö viaton			
TYÖTURVALLISUUSTOIMIEN VALVOJAN TARKASTUS:		Tekijä: <i>[Signature]</i>	Päiväys: 3.2.2011
Työryhmän jäsenten koulutus, ammattitaito ja perehdytys			
Työvälineet			
-hyväksytyt jännitetyövälineet alustoituneen			
-muut työvälineet			
Työkohteeseen viaton			
Metalliosat työskentelyalueella maadoitettu			
Viestiyhteys käytöstä vastaavaan			
Turvaetäisyydet merkitty			
Säätötila			
Työlupa saatu			
TYÖN AIKANA:			
Työohjeen noudattaminen			
Turvaetäisyyksien noudattaminen			
Ilmaväliä säilyvät riittävinä			
Työalueella ei ole ulkopuolisia			
Työn keskeytys, syy ja turvallisuuden varmistaminen			
TYÖN LOPUSSA:			
Työ lopetettu, välineet poistettu, henkilöt poissa			
Lopetusilmoitus käytöstä vastaavalle			
Työväline-, varuste- ja laitteistotarkastus			
TYÖSTÄ VASTAAVAN LOPPUTARKASTUS:			
Relesuojauksen asettelu			
Jälkeenkytkentöjen palautus			
Varoitusmerkintöjen poisto			